



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

ESTUDIO PROSPECTIVO DEL SECTOR TRANSPORTE DE ECUADOR Y SU INCIDENCIA EN LA MATRIZ ENERGÉTICA EN EL PERIODO 2017 - 2040

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGÍSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA

ING. CÉSAR MAURICIO BARREIRO HIDALGO
cesar.barreiro@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. RAFAEL SORIA, D.Sc.
rafael.soria01@epn.edu.ec

CO – DIRECTOR: ING. VICTOR H. HIDALGO, D.Sc.
victor.hidalgo@epn.edu.ec

Quito, Abril 2018

CERTIFICACIÓN

Certifico que el siguiente trabajo fue desarrollado por César Mauricio Barreiro Hidalgo, bajo mi supervisión.

ING. RAFAEL SORIA, D.Sc.
DIRECTOR

ING. VICTOR H. HIDALGO, D.Sc.
CO - DIRECTOR

DECLARACIÓN

Yo, César Mauricio Barreiro Hidalgo, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

ING. CÉSAR MAURICIO BARREIRO HIDALGO

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico en primer lugar a Dios, que me ha permitido culminar con éxito mis estudios, a mis queridos padres César y Piedad, a mis hermanas que me han apoyado en todo momento para brindarme su sabio consejo, y principalmente a mi amada esposa Angie, quien con mucha paciencia y amor, ha estado junto a mí en todo momento y por haberme dado esos tres hermosos regalos que son mis hijas: Paula, Deborah y Ángela.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi agradecimiento a la Escuela Politécnica Nacional, a las autoridades de la Facultad de Ingeniería Mecánica, por haberme dado la oportunidad de forjarme como profesional con ética y mística de trabajo.

De manera especial a los profesores Ing. Rafael Soria, D.Sc., Director, y al Ing. Víctor Hugo Hidalgo, D.Sc., Co-Director, del proyecto de tesis, por sus magníficos aportes en la realización de la misma, además cabe mencionar el agradecimiento a todas las personas e instituciones que de alguna manera me brindaron su colaboración para realizar la investigación, entidades públicas y privadas tales como LEAP, MEER, MICSE, INER y OLADE.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Certificación.....	i
Declaración.....	ii
Dedicatoria.....	iii
Agradecimiento.....	iv
Índice de contenido.....	v
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas.....	xi
Glosario.....	xiv
Resumen.....	xv
Abstract.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS.....	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos.....	5
1. MARCO TEÓRICO.....	7
1.1. El sector transporte en la matriz energética	7
1.2. Energías renovables en Ecuador.....	8
1.3. Nuevas tecnologías en el sector transporte	12
1.4. Biocombustibles en el transporte por carretera	12
1.4.1. Experiencias en Ecuador	13
1.5. Vehículos eléctricos	14
1.5.1. Tipos de vehículos eléctricos	14
1.5.1.1. <i>Híbridos:</i>	14
1.5.1.2. Híbrido en paralelo:	14
1.5.1.3. Híbrido paralelo ligero:	14
1.5.1.4. Híbrido serie-paralelo:	15
1.5.1.5. Híbrido en serie:	15
1.5.1.6. Beneficios de los híbridos:	15

1.5.1.7. Eléctricos de baja autonomía (100 – 400km):	15
1.5.1.8. Eléctricos de baja velocidad (40 – 70 km/h):	15
1.5.1.9. Eléctricos de dos o tres ruedas:	16
1.5.1.10. Buses eléctricos:	16
1.5.2. Experiencias en Ecuador	16
1.6. Planificación energética integrada	18
1.7. Análisis de descomposición de índices	19
2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	20
2.1. LEAP®	20
2.2. Escenario base	22
2.2.1. Variables macroeconómicas y demográficas	22
2.2.2. Valores de la demanda energética del sector transporte	22
2.2.2.1. Demanda energética por tipo de combustible de los vehículos livianos	24
2.2.2.1. Demanda energética por tipo de combustible de los vehículos de Carga	26
2.2.3. Valores de la demanda energética del sector industria	28
2.2.4. Valores de la demanda energética del sector residencial	28
2.2.5. Valores de la demanda energética del sector comercial	29
2.2.6. Valores de la demanda energética por tipo de fuente	29
2.3. Proyección del escenario base	30
2.3.1. Selección del rango de estudio y periodos	30
2.3.2. Plan de sustitución de vehículos eléctricos	31
2.3.3. Escenario transporte eléctrico (TRA)	34
2.3.3.1. Corto plazo (Proyección al 2020)	34
2.3.3.2. Mediano plazo (Proyección al 2030)	35
2.3.3.3. Largo plazo (Proyección al 2040)	35
2.3.4. Bio-gasolinas (BIO)	35
2.3.4.1. Corto plazo (Proyección al 2020)	35
2.3.4.2. Mediano plazo (Proyección al 2030)	35
2.3.4.3. Largo plazo (Proyección al 2040)	36

2.3.5. Biodiesel (DIE).....	36
2.3.5.1. Corto plazo (Proyección al 2020).....	36
2.3.5.2. Mediano plazo (Proyección al 2030)	36
2.3.5.3. Largo plazo (Proyección al 2040)	36
2.3.6. Compuesto (COM)	36
3. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.....	37
3.1. Escenario base.....	37
3.1.1. Desglose sector transporte – grupo/uso.....	39
3.1.2. Desglose Sector Transporte – Grupo/Uso/Tipo	40
3.1.2.1. Vehículos livianos – grupo/uso/tipo	40
3.1.2.2. Vehículos carga – grupo/uso/tipo	42
3.1.3. Desglose sector transporte – grupo/uso/tipo/combustible	45
3.1.3.1. Vehículos livianos – grupo/uso/tipo/combustible.....	45
3.1.3.2. Vehículos carga – grupo/uso/tipo/combustible	45
3.1.4. Desglose sector transporte – demanda energética de combustibles secundarios .	46
3.1.4.1. Vehículos livianos – combustibles secundarios	46
3.1.4.2. Vehículos de carga – combustibles secundarios	53
3.2. Escenario #1 - sustitución parcial por vehículos eléctricos.....	59
3.3. Escenario #2 - sustitución parcial de gasolinas convencionales por bio-gasolinas ...	60
3.4. Escenario #3 - sustitución parcial de diésel convencional por biodiesel	61
3.5. Escenario #4 - combinación de escenarios 1 + 2 +3	62
3.6. Balance energético 2014 al 2040	63
3.7. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).....	66
3.8. Definición de metas.....	67
3.8.1. Mediano plazo (Año 2030).....	68
3.8.2. Largo plazo (Año 2040).....	68
4. CONCLUSIONES.....	70
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	72
Anexos.....	79

Anexo A - Descripción del proceso de simulación en LEAP®	76
Anexo B - Definición del modelo	77
Anexo C - Matriz de selección de software de simulación	91
Anexo D - Metodología de planificación de planes energéticos de OLADE	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la oferta de energía primaria por fuentes en Ecuador en el periodo 2000 - 2014.....	2
Figura 2. Origen de la oferta de derivados en el 2014	3
Figura 3. Cantidad de vehículos en el parque automotor del sector transporte de Ecuador en el 2014	8
Figura 4. Prospectiva de potencia efectiva y demanda máxima.....	11
Figura 5. Cantidad de vehículos en el parque automotor del sector transporte de Ecuador en el periodo 2003 - 2040	23
Figura 6. Proyección de crecimiento del parque automotor de VE de Ecuador	31
Figura 7. Evolución mundial del parque automotor de VE en el periodo 2010 – 2016.	32
Figura 8. Proyección de la evolución mundial del parque automotor de VE en el periodo 2010 – 2030.....	33
Figura 9. Proyección de la evolución mundial del parque automotor de VE en el periodo 2010 – 2040.....	33
Figura 10. Proyección de la evolución del parque automotor de VE en Ecuador	34
Figura 11. Demanda energética (por sectores) de Ecuador periodo 2014 -2040	38
Figura 12. Demanda energética (por grupos) de Ecuador periodo 2014 -2040	39
Figura 13. Demanda energética por grupos y desglose de uso, periodo 2014 -2040.....	40
Figura 14. Desglose de demanda energética del grupo livianos, por grupo/uso/tipo de vehículo - sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040	42
Figura 15. Desglose de demanda energética del grupo Carga, por grupo/uso/tipo de vehículo - sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040	44
Figura 16. Desglose de demanda energética del grupo livianos, por grupo/uso/tipo de vehículo/combustible - sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040.....	45
Figura 17. Desglose de demanda energética del grupo Carga, por grupo/uso/tipo de vehículo/combustible - sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040.....	46
Figura 18. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos de Ecuador periodo 2014 -2040	47
Figura 19. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/particulares de Ecuador periodo 2014 -2040	48
Figura 20. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/alquiler de Ecuador periodo 2014 -2040.....	49
Figura 21. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos	

livianos/estado de Ecuador periodo 2014 -2040	50
Figura 22. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/Municipal de Ecuador periodo 2014 -2040.....	51
Figura 23. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/Gob. Seccionales de Ecuador periodo 2014 -2040.....	52
Figura 24. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/Otros de Ecuador periodo 2014 -2040	53
Figura 25. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/particular de Ecuador periodo 2014 -2040	54
Figura 26. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/alquiler de Ecuador periodo 2014 -2040.....	55
Figura 27. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/estado de Ecuador periodo 2014 -2040	56
Figura 28. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/municipal de Ecuador periodo 2014 -2040	57
Figura 29. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/gob. seccionales de Ecuador periodo 2014 -2040	58
Figura 30. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/otros de Ecuador periodo 2014 -2040	59
Figura 31. Escenario #1, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040.....	60
Figura 32. Escenario #2, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040.....	61
Figura 33. Escenario #3, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040.....	62
Figura 34. Escenario #4, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040.....	63
Figura 35. Balance de la matriz energética – 2014.....	64
Figura 36. Diagrama de Sankey – 2014.....	64
Figura 37. Balance de la matriz energética – 2040.....	65
Figura 38. Diagrama de Sankey – 2040	65
Figura 39. Escenario 4 - Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) – periodo 2014 – 2040 (Mtoneladas métricas equivalentes de CO ₂)	67
Figura 40. Diagrama de flujo del proceso de simulación en LEAP®	76
Figura 41. Demanda del sector transporte	78
Figura 42. Demanda del sector industria	79

Figura 43. Demanda del sector residencial	80
Figura 44. Demanda del sector comercial	81
Figura 45. Demanda por tipo de Sector	82
Figura 46. Demanda por fuente	83
Figura 47. Tipos de formas de transformación energética del estudio	84
Figura 48. Transmisión y distribución	84
Figura 49. Transmisión y distribución – productos combustibles y desechos	85
Figura 50. Contaminantes producto de la combustión del gas natural	85
Figura 51. Generación eléctrica – productos combustibles, procesos y desechos	86
Figura 52. Contaminantes producto de la combustión del fueloil	87
Figura 53. Producción de carbón - productos combustibles, procesos y desechos	87
Figura 54. Contaminantes producto de la combustión de la madera	88
Figura 55. Refinación de petróleo – productos combustibles, procesos y desechos	88
Figura 56. Contaminantes producto de la combustión del petróleo	89
Figura 57. Recursos – fuentes primarias y secundarias	90
Figura 58. Metodología de planificación de OLADE	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Nuevos proyectos de generación eléctrica en operación	4
Tabla 2. Cantidad de vehículos en parque automotor 2014	8
Tabla 3. Proyectos de generación eléctrica.....	9
Tabla 4. Pruebas de introducción de vehículos eléctricos a las principales ciudades de Ecuador.....	16
Tabla 5. Pruebas de introducción de vehículos eléctricos a Galápagos	18
Tabla 6. Variables macroeconómicas y demográficas de Ecuador en el 2014	22
Tabla 7. Desglose de vehículos livianos por tipo de vehículo vs. tipo de combustible en 2014	23
Tabla 8. Desglose de vehículos de carga por tipo de vehículo vs. tipo de combustible al año 2014	24
Tabla 9. Demanda del sector transporte – Veh. Liviano – Automóvil (kBEP).....	24
Tabla 10. Demanda del sector transporte – Veh. Liviano – Autobús (kBEP)	24
Tabla 11. Demanda del sector transporte – Veh. Liviano – Furgoneta P (kBEP)	25
Tabla 12. Demanda del sector transporte – Veh. Liviano – Jeep (kBEP).....	25
Tabla 13. Demanda del sector transporte – Veh. Liviano – Motocicleta (kBEP)	25
Tabla 14. Demanda del sector transporte – Veh. Liviano – Otra Clase (kBEP)	25
Tabla 15. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Camión (kBEP).....	26
Tabla 16. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Camioneta (kBEP)	26
Tabla 17. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Furgoneta C (kBEP).....	26
Tabla 18. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Tanquero (kBEP).....	27
Tabla 19. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Tráiler (kBEP).....	27
Tabla 20. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Volqueta (kBEP).....	27
Tabla 21. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Otra Clase (kBEP).....	27
Tabla 22. Demanda del sector industria (2014).....	28
Tabla 23. Demanda del sector residencial.....	29
Tabla 24. Demanda del sector comercial	29
Tabla 25. Demanda por fuente	30
Tabla 26. Comparación de la proyección de crecimiento del parque automotor de VE en Ecuador con respecto a la proyección mundial según la declaración de París.....	34
Tabla 27. Demanda energética (por sectores) de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP). 38	
Tabla 28. Demanda energética, sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)	39
Tabla 29. Desglose de demanda energética, sector transporte de Ecuador periodo 2014 -	

2040 (MBEP)	40
Tabla 30. Desglose de demanda energética del grupo livianos, por tipo de vehículo - sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)	41
Tabla 31. Desglose de demanda energética del grupo carga, por grupo/uso/tipo - sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)	43
Tabla 32. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP).....	46
Tabla 33. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/particulares de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP).....	47
Tabla 34. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/alquiler de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP).....	48
Tabla 35. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos Livianos/Estado de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)	49
Tabla 36. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/municipal de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)	50
Tabla 37. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/gob. seccionales de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)	51
Tabla 38. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/otros de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP).....	52
Tabla 39. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos de carga de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP).....	53
Tabla 40. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/particular de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP).....	54
Tabla 41. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/alquiler de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP).....	54
Tabla 42. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/estado de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP).....	55
Tabla 43. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/municipal de Ecuador periodo 2014 -2040(kBEP)	56
Tabla 44. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/gob. seccionales de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)	57
Tabla 45. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/otros de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP).....	58
Tabla 46. Escenario #1, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 - 2040 (MBEP)	60
Tabla 47. Escenario #2, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -	

2040 (MBEP)	61
Tabla 48. Escenario #3, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 - 2040 (MBEP)	62
Tabla 49. Escenario #4, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 - 2040 (MBEP)	63
Tabla 50. Producción de gases de efecto invernadero (GEI) – escenario base 2014 -2040 (Mtoneladas métricas equivalentes de CO ₂)	66
Tabla 51. Producción de gases de efecto invernadero (GEI) – escenario #4 - 2014 -2040	66
Tabla 52. Variables macroeconómicas y demográficas de Ecuador en el 2014	77
Tabla 53. Demanda del sector transporte.....	78
Tabla 54. Demanda del sector industria	79
Tabla 55. Demanda del sector residencial.....	79
Tabla 56. Demanda del sector comercial	80
Tabla 57. Demanda por sector.....	81
Tabla 58. Demanda por fuente	82
Tabla 59. Definición de pérdidas en transmisión y distribución	84
Tabla 60. Capacidad de producción eléctrica.....	86
Tabla 61. Definición de eficiencia del proceso de refinación de petróleo	89
Tabla 62. Definición de capacidad anual del proceso de refinación de petróleo.....	89
Tabla 63. Valoración de software de simulación energética	91
Tabla 64. Tabla de ponderación	92

GLOSARIO

2DS	<i>Two degree scelsius</i>
AEADE	Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador
BDS	<i>Beyond two degree scelsius</i>
BEN	Balance energético nacional
BEP	Barril equivalente de petróleo
EE	Efecto estructura
EI	Efecto intensidad
ERNC	Energías renovables no convencionales
GEI	Gases de efecto invernadero
GLP	Gas licuado del petróleo
GWh	Giga vatios hora
IAEA	Agencia internacional de energía atómica
IDA	Análisis de descomposición de índices
IDA	Análisis del índice de descomposición
IEA	Agencia Internacional de Energía
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
INER	Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables
k	kilo
kBEP	10 ³ BEP
M	Mega
MBEP	10 ⁶ BEP
MCPEC	Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad
MICSE	Ministerio de Coordinación de los Sectores Estratégicos
RTS	<i>Reference Technology Scenario</i>
SDA	Análisis de descomposición estructural
SIN	Sistema Nacional Interconectado
UNFCCC	Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático
VE	Vehículos eléctricos

RESUMEN

Se ha desarrollado un estudio prospectivo del sector transporte de Ecuador y su incidencia en la matriz energética en el periodo 2017 – 2040, para evaluar diversos escenarios que permitan usar adecuadamente los recursos energéticos con los que cuenta el país, además de disminuir la emisión de gases de efecto invernadero en el sector transporte y de reducir las importaciones de combustibles fósiles.

Se analizaron las relaciones entre los diferentes elementos que estructuran la matriz energética del sector transporte y su efecto en la economía, ambiente y la sociedad. Para ello se plantearon distintos escenarios que sirvieron para evaluar el sector transporte. Se plantean proyectos piloto en el grupo de vehículos de alquiler para la sustitución de vehículos tradicionales de combustión interna por vehículos eléctricos, aprovechando así la capacidad instalada de los proyectos hidroeléctricos del país.

También se evalúa el potencial que ofrece la sustitución parcial de combustibles fósiles por biocombustibles, como es el caso de la gasolina ecopaís®. Proyectando escenarios de aumento del porcentaje de bioetanol de 5% a 10% a Mediano plazo y la introducción del biodiesel para el grupo de vehículos de carga.

Se concluyó que el escenario que presenta un mayor beneficio a la economía del combustible fósil es la de la introducción de tecnología de vehículos eléctricos.

Palabras clave: estudio prospectivo, LEAP, planificación energética, sector transporte, simulación.

ABSTRACT

A prospective study of the transport sector of Ecuador has been developed, and its incidence on the energy matrix in the period 2017 - 2040, so as to evaluate various scenarios that allow the adequate use of the energy resources available in the country, In addition, to reduce the emission of gases greenhouse effect in the transport sector and reduce imports of fossil fuels.

The relationships between the different elements that structure the energy matrix of the transport sector and its effect on the economy, environment and society were analyzed. For this, different scenarios were proposed, that served to evaluate the transport sector. Pilot projects were proposed in the group of rental vehicles for the replacement of traditional vehicles with internal combustion by electric vehicles, taking advantage of the installed capacity of the country's hydroelectric projects.

The potential offered by the partial substitution of fossil fuels for biofuels, such as the ecopaís® gasoline, is also evaluated. Projecting scenarios of increasing the percentage of bioethanol from 5% to 10% in the medium term and the introduction of biodiesel for the group of cargo vehicles.

To conclude, the scenario that presents the greatest benefit to the fossil fuel economy is the introduction of electric vehicle technology.

Keywords: prospective study, LEAP, energy planning, transport sector, simulation.

ESTUDIO PROSPECTIVO DEL SECTOR TRANSPORTE DE ECUADOR Y SU INCIDENCIA EN LA MATRIZ ENERGÉTICA EN EL PERIODO 2017 - 2040

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se desarrollará un estudio acerca de los parámetros que podrían modificarse dentro del sector transporte de Ecuador, a fin de obtener mejoras significativas en disminución de consumo de energía de origen fósil y de igual modo, la disminución en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI).

Este análisis no puede ser realizado de manera aislada al balance energético del país ya que la sustitución de combustibles afecta a otros sectores de la matriz energética, creando distorsiones que podrían hacer inviable algunas propuestas (Noboa, 2012). Por ello es importante realizar planificación energética integral, que no solo considera al sector transporte, sino también a otros sectores de consumo y a los generadores de energía.

En el caso particular de Ecuador en el Figura 1, se puede observar cómo ha sido la evolución de la producción de energía primaria durante el periodo 2000 - 2014. La producción de petróleo supera extensamente a la producción de otras fuentes, como lo son la hidroeléctrica, la leña, el gas natural, productos de la caña de azúcar y “otros”, que incluyen a las energías renovables no convencionales (ERNC), como la fotovoltaica y la eólica.

En el mismo período el crecimiento de la oferta de ERNC ha sido muy bajo, sin embargo hay proyectos y políticas de Gobierno que han logrado avances al respecto, por ejemplo las centrales hidroeléctricas y los parques eólicos (INER, 2014).

Es importante analizar cómo es el crecimiento de la demanda en función del crecimiento demográfico, el crecimiento del parque automotor, aumento del PIB (producto interno bruto), entre otros (Banco Mundial, 2016). En Ecuador el crecimiento demográfico desde la década del 50 hasta el 2010 aumentó de 3.202.757 a 14.306.876 de habitantes, lo que significa una tasa de crecimiento promedio anual de 2,5%. La concentración de la mayor parte de la población se encuentra en las provincias de Pichincha y Guayas (INEC, 2010).

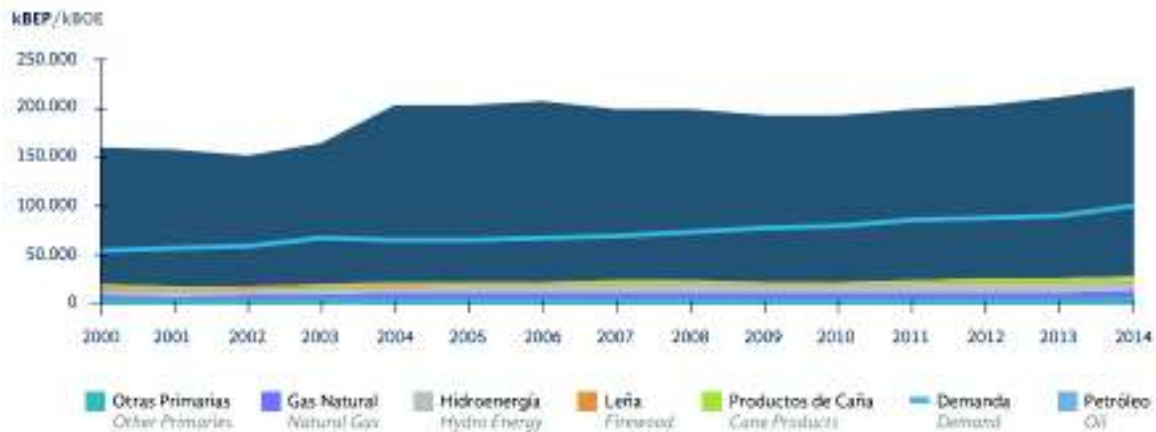


Figura 1. Evolución de la oferta de energía primaria por fuentes en Ecuador en el periodo 2000 - 2014
Fuente: (MICSE, 2015)

Por otra parte el parque automotor, a nivel nacional ha presentado un acelerado crecimiento con un salto desde el año 2003 al 2015 de 495.897 a 1.752.712 vehículos (INEC, 2015), lo cual representa un crecimiento promedio anual del 11,28%.

En consecuencia, y a pesar de ser un país exportador de petróleo, el país ha experimentado un crecimiento en la brecha entre la producción de energía final (derivados de petróleo) y su demanda de energía final (MICSE, 2015). Esta diferencia se ha ampliado en el tiempo, lo que ha generado la necesidad de realizar importaciones de derivados de petróleo para poder cubrir la demanda de los sectores transporte, industria, residencial y generación eléctrica.

El comportamiento de la oferta nacional de derivados de petróleo muestra que el país requiere importar porcentajes elevados de diésel, gasolinas y GLP para satisfacer la demanda nacional. En específico, como se muestra en el Figura 2, se requiere importar un 69% de la demanda total de diésel, un 60% de gasolinas y un 83% de GLP (MICSE, 2015), (ver Figura 2). Estos porcentajes de importación son altos para un país productor de petróleo y dan muestra de la necesidad de tomar medidas y políticas de estado que disminuyan la importación y el consumo de combustibles derivados.

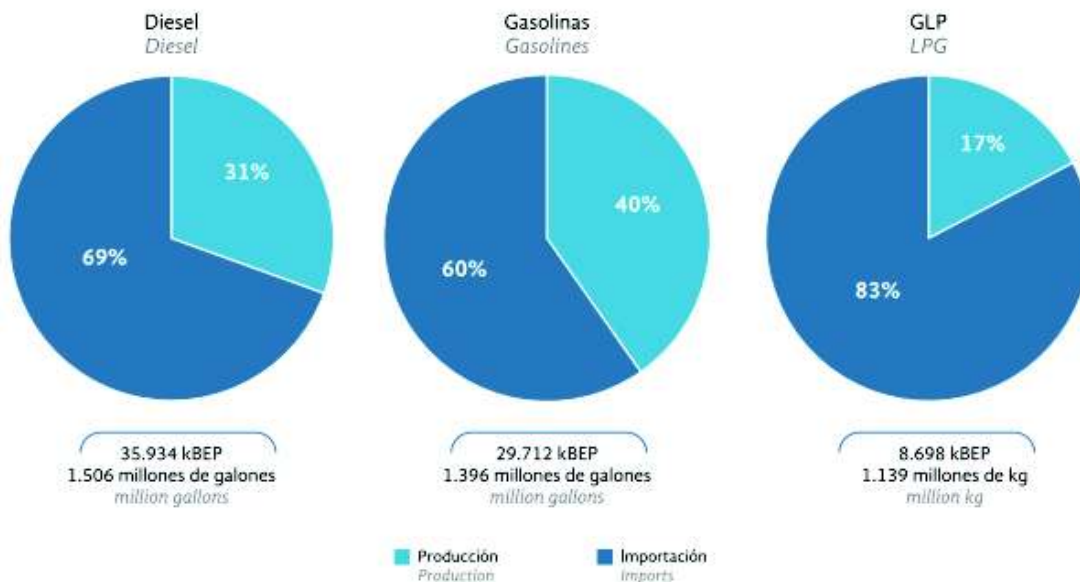


Figura 2. Origen de la oferta de derivados en el 2014
Fuente: (MICSE, 2015)

Hasta el 2010, el sector transporte fue el consumidor predominante de energía en el Ecuador, siendo responsable por un 50% de la demanda nacional (INER, 2014).

Los combustibles más consumidos en el sector transporte son el diésel (45%) y gasolina (41%). Sin embargo, en Ecuador desde el año 2011 se viene produciendo la gasolina ecopaís® en la provincia del Guayas, y se distribuye en varias provincias de la Costa, este combustible está compuesto de 95% de gasolina extra y 5% de bioetanol. También existe otra iniciativa para disminuir o complementar el uso de combustibles fósiles en Ecuador, esta es el servicio público trolebús de la ciudad de Quito (MCPEC, 2017) (Klass, 2004).

El desarrollo del sector energético en el Ecuador vive una nueva era. Prima la visión de soberanía, protección ambiental y sostenibilidad. Los recursos naturales son la base del desarrollo económico y social. Dentro de este contexto la energía juega un papel catalizador para mantener el crecimiento económico alcanzado en los últimos años. (MICSE, 2013)

En el año 2014 en Ecuador había una capacidad nacional instalada de 5.299 MW de electricidad generada por fuentes hidroeléctricas (MICSE, 2015). Entre el 2014 al 2017 se han puesto en marcha doce proyectos hidroeléctricos para incrementar la capacidad nacional instalada a 7.873MW (MICSE, 2013), lo que representa un incremento del 48% en cuanto a la capacidad instalada en el 2014, con respecto a los años venideros.

Antes de estos proyectos hidroeléctricos Ecuador sufría de un déficit energético que debía cubrir a través de la importación de electricidad utilizando el sistema de interconexión eléctrica con Perú y Colombia, se estima que el 3% de la oferta energética eléctrica del Ecuador en el año 2014 se suplía con importación, eso es el equivalente a 837 GWh. (MICSE, 2015)

Con la entrada en operación de nuevos proyectos hidroeléctricos entre el 2015 y 2016 (Ver Tabla 1), la matriz eléctrica ecuatoriana da un vuelco positivo, pasando a tener un excedente de energía eléctrica que puede ser aprovechado para proponer cambios en la matriz de energía primaria que beneficien la sustitución de energías fósiles por electricidad.

Tabla 1. Nuevos proyectos de generación eléctrica en operación

Año	Proyecto / Central	Estatus	Tipo	Potencia [MW]	Energía media año [GWh/año]
2015	Hidosanbartolo	En operación comercial	Hidroeléctrico	49,95	
2015	Gualaceo	En operación comercial	Hidroeléctrico	0,97	
2015	Manduriacu	En operación comercial	Hidroeléctrico	63,36	
2015	Baba	En operación comercial	Hidroeléctrico	42,2	
2016	Baltra Solar	En operación comercial	Solar	0,07	
2016	Mazar-Dudas: Alazán	En operación comercial	Hidroeléctrico	6,23	39,10
2016	San José del Tambo	En operación comercial	Hidroeléctrico	8,00	45,00
2016	El Inga I	En operación comercial	Biogás	2,00	15,60
2016	Coca Codo Sinclair	En operación comercial	Hidroeléctrico	1.500,00	8.743,00
2016	Paute - Sopladora	En operación comercial	Hidroeléctrico	487,00	2.800,00
2016	Topo	En operación comercial	Hidroeléctrico	29,20	222,00
2016	Victoria	En operación comercial	Hidroeléctrico	10,00	64,00
				2198,98	11928,70

Fuente: Plan Maestro de Electricidad 2016-2025, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Equipo Técnico Interinstitucional, Quito 2017.

La tendencia mundial es a implementar medidas que vayan sustituyendo los combustibles fósiles (IEA, 2017). Las opciones más desarrolladas en los últimos años, han sido la sustitución de vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos y la introducción de

combustibles de menor impacto ambiental, tal como las biogasolinas y biodiesel.

Esta investigación establece el estado del arte actual del Ecuador en la sustitución de los combustibles fósiles y a su vez evalúa y propone escenarios de modificaciones de la matriz energética del país con respecto al sector automotriz y la disminución de la dependencia y consumo de energías fósiles, y evalúa las emisiones de GEI de este sector.

OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un análisis prospectivo de Largo plazo de la matriz energética de Ecuador enfocándose en el análisis del sector transporte, para evaluar diversos escenarios que permitan usar adecuadamente los recursos energéticos con los que cuenta el país, disminuir la emisión de GEI en el sector transporte y reducir las importaciones de combustibles fósiles.

Objetivos específicos

- Realizar el análisis de la matriz energética de Ecuador.
- Caracterizar la dinámica del consumo energético del sector transporte en el Ecuador.
- Determinar medidas, de corto, mediano y largo plazo, que contribuyan para reducir la emisión de GEI del sector transporte; y a disminuir la importación de combustibles.
- Valorar los resultados obtenidos de los distintos escenarios propuestos y formular recomendaciones de política pública.

LÍMITES

- La investigación se limita al desarrollo y análisis de diversos escenarios para el caso del sector transporte.
- Los posibles resultados a obtener serían consecuencia de acciones y cambios paulatinos y se verán reflejados en resultados a largo plazo, en un periodo de hasta 20 años.

APORTACIONES

- Desarrollo de un sistema de planificación energética enfocado al uso racional de energía en el sector transporte.
- Propuesta de disminución de la contaminación ambiental asociada al uso de combustibles fósiles en el sector transporte.
- Disminución de la dependencia de combustibles fósiles en el sector transporte.

VALOR PRÁCTICO

- Es una investigación que puede servir de base para futuras planificaciones de la matriz energética nacional, en específico del sector transporte y de su influencia en los otros sectores productivos.
- Visión comprometida con los objetivos de la planificación energética y compromisos ambientales nacionales.
- Hacer eficiente el uso energético actual del país

1. MARCO TEÓRICO

1.1. El sector transporte en la matriz energética

El transporte es la actividad con mayor demanda energética consumiendo más del 50% de la demanda mundial de petróleo (IEA, 2013). El crecimiento de este sector va ligado al crecimiento demográfico y al fortalecimiento de la capacidad adquisitiva de la sociedad; sin embargo, existen políticas públicas que se pueden aplicar para impulsar iniciativas en las que, a pesar del previsto incremento del parque automotor se generen menos problemas en la movilidad o impacto ambiental.

En el país desde que se tienen registros hasta el 2010 el sector transporte ha sido el principal consumidor de energía primaria, cubriendo alrededor del 50% del total nacional (INER, 2014). El Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), ha conformado un equipo técnico para la investigación y desarrollo, sobre “línea base para investigación en eficiencia energética en el sector transporte”. Este trabajo servirá para definir una línea base inicial de referencia para el diseño un plan estratégico y posteriormente desarrollar estudios prospectivos.

Al inicio de los esfuerzos de la investigación del INER, con respecto a las distintas ramas del transporte, se determinó que es el transporte terrestre el de mayor demanda dentro del sector, con el 84% del total de la energía usada. Es por ello que este sub-sector merece un especial interés y atención (INER, 2014).

Bajo este contexto, puede verse claramente que el sector transporte es una de las actividades de mayor consumo energético en el país y su aumento es paulatino. Por ello, se destaca la importancia de realizar estudios e investigaciones a largo plazo del tema.

La conformación del parque automotor de Ecuador en el 2014 se muestra en la Tabla 2 y porcentualmente en el Figura 3, donde se observa predominantemente el grupo de vehículos particulares con 1.657.000 unidades, lo cual representa un 94,5%, seguido por el grupo de alquiler con 64.360 vehículos, que representan un 3,7%; y finalmente Otros con 31.420 vehículos, o 1,8% (INER, 2014).

Tabla 2. Cantidad de vehículos en parque automotor 2014

Año	Particulares	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos Seccionales	Otros
2014	1.656.929	64.363	24.655	5.950	765	50

Nota: Unidades en número vehículos
Fuente: (INEC, 2015)

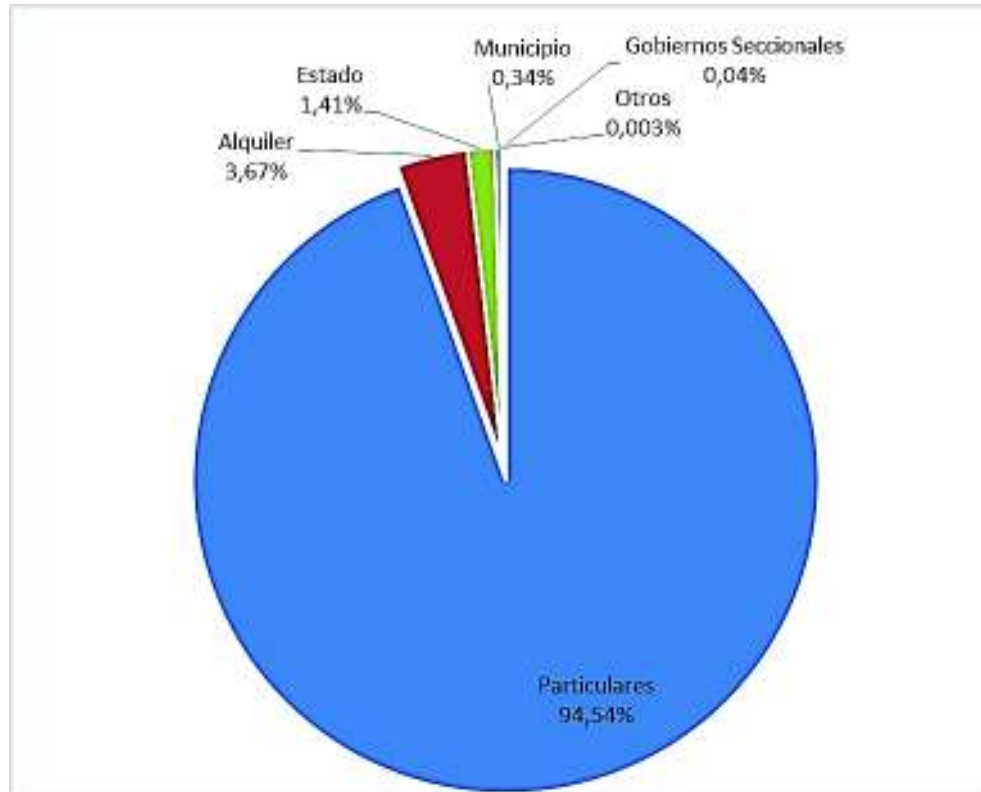


Figura 3. Cantidad de vehículos en el parque automotor del sector transporte de Ecuador en el 2014
Fuente: (INEC, 2015)

1.2. Energías renovables en Ecuador

Es importante realizar una revisión y reseña del progreso de las energías renovables, disponibilidad en el país, uso y proyección futura a fin de establecer si estas pudiesen ser parte de la solución a la problemática planteada.

El uso de energía renovable a nivel global ha visto un crecimiento importante y la proyección es que siga en aumento, esto se debe a la sustitución que realizan algunos países de energías de base fósil. La energía de origen fósil es finita, y su extracción, procesamiento y uso trae alto impacto ambiental. La emisión de gases generados durante la combustión de combustibles fósiles (gases de efecto invernadero - GEI) ha producido

efectos de calentamiento global (REN21, 2016).

En muchos países ya es común el uso de fuentes renovables como la hidráulica, eólica, solar y geotérmica. Se estima que se tiene una capacidad instalada es alrededor de 160 Gigawatts de capacidad de energía renovable a nivel mundial, siendo países como Brasil, China y la India los que llevan la iniciativa y van a la vanguardia en la instalación de esas tecnologías (REN21, 2016).

La Tabla 3 y el Figura 4, describen la prospectiva de la generación de energía hidroeléctrica en Ecuador.

Tabla 3. Proyectos de generación eléctrica

Año de entrada en operación	Proyecto / Central	Estatus	Tipo	Potencia [MW]	Energía media año [GWh/año]
2017	El Inga II	En construcción	Biogás	3,00	23,40
2017	Machala Gas Tercera Unidad	En construcción	Termoeléctrico	77,00	510,00
2017	Minas – San Francisco	En construcción	Hidroeléctrico	275,00	1.290,80
2017	Mazar-Dudas: San Antonio	En construcción	Hidroeléctrico	7,19	44,90
2017	Chorrillos	En construcción	Hidroeléctrico	4,00	23,00
2017	Delsitanisagua	En construcción	Hidroeléctrico	180,00	1.411,00
2017	Palmira Nanegal	En construcción	Hidroeléctrico	10,00	77,00
2017	Toachi - Pilatón (Sarapullo 49MW, Alluriquín 205,4 MW)	En construcción	Hidroeléctrico	254,40	1.120,00
2017	San José de Minas	En construcción	Hidroeléctrico	5,95	37,00
2017	Machala Gas Ciclo combinado	En construcción	Termoeléctrico	110,00	720,00
2017	Due	En construcción	Hidroeléctrico	49,71	420,90
2017	Rio Verde Chico	En construcción	Hidroeléctrico	10,20	82,90
2018	Sigchos	En construcción	Hidroeléctrico	18,57	126,40
2018	Pusuno	En construcción	Hidroeléctrico	39,50	216,90
2018	Sabanilla	En construcción	Hidroeléctrico	30,00	194,00
2018	Quijos	En construcción	Hidroeléctrico	50,00	355,00

2018	Normandía	En construcción	Hidroeléctrico	48,15	350,70
2022	Proyectos con Energías Renovables	En trámite de obtención de título habilitante	Renovables	200,00	876,00
2023	Santa Cruz	Autogeneración minera. En tramite	Hidroeléctrico	138,00	964,00
2023	Paute - Cardenillo	Declarado de alta prioridad para el sector eléctrico. Certificado de calificación. Diseño definitivo concluido	Hidroeléctrico	595,60	3.409,00
				4.148,70	24.181,60

Fuente: Plan Maestro de Electricidad 2016-2025, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, (MEER, 2017)

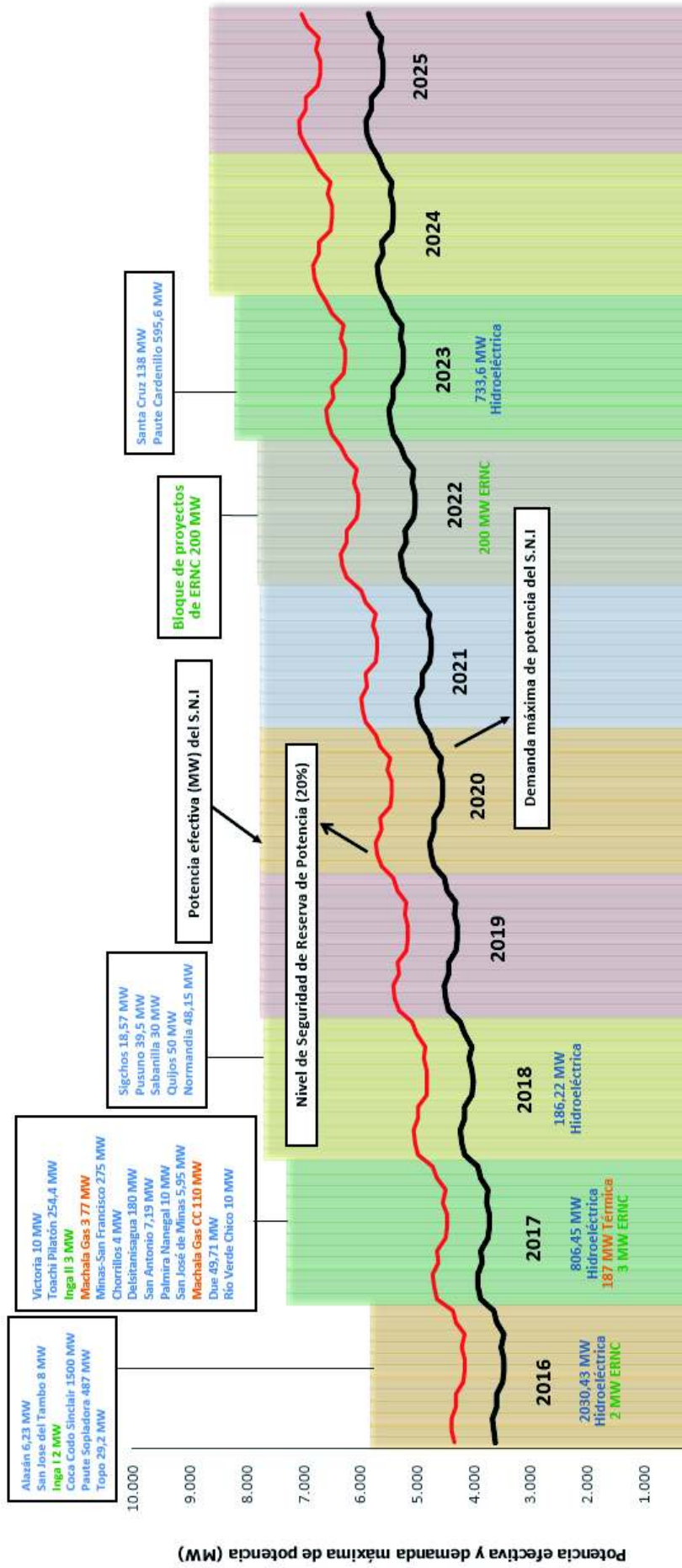


Figura 4. Prospectiva de potencia efectiva y demanda máxima.
Fuente: Plan Maestro de Electricidad 2016-2025, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, (MEER, 2017)

1.3. Nuevas tecnologías en el sector transporte

En la actualidad existen tecnologías que podrían hacer diferencia en los próximos 10 a 50 años. La estrategia que resulta más conservadora y de mayor probabilidad de éxito es impulsar el desarrollo de múltiples opciones, ideas o proyectos de tecnologías ya que esto reducirá enormemente el riesgo e inclusive los costos, en caso de que no se lograra lo esperado con alguna de estas tecnologías (García Ramos, 2011).

Resulta especialmente importante mejorar la eficiencia energética en el sector del transporte puesto que este sector consume el grueso de los productos petrolíferos y se caracteriza por un alto nivel de emisiones. La eficiencia de los vehículos convencionales diésel y de gasolina se puede mejorar considerablemente. Entre las tecnologías más prometedoras se encuentran los vehículos híbridos y los motores diésel avanzados. Los turbocompresores, la inyección de combustible y los métodos electrónicos avanzados de control del motor pueden contribuir a la reducción del consumo de combustible. Los materiales nuevos y los motores más compactos pueden llevar a la consecución de vehículos más ligeros y con un consumo más eficiente del combustible (García Ramos, 2011).

Asimismo, son posibles amplias mejoras en la eficiencia de los dispositivos de los vehículos, especialmente del aire acondicionado. Algunas medidas prácticas, tales como garantizar que los neumáticos estén correctamente inflados, pueden suponer una diferencia sorprendentemente significativa. Las mejoras en cuanto a eficiencia son una prioridad principal para generar energía sustentable en el futuro (García Ramos, 2011).

1.4. Biocombustibles en el transporte por carretera

La búsqueda de alternativas que produzcan bajas emisiones de CO₂ en el sector del transporte ha demostrado ser un reto aún mayor que en el caso de la generación de electricidad. El etanol derivado de la biomasa es un insumo atractivo y con buenas propiedades de combustión. Comúnmente se ha mezclado con gasolina (10% de etanol y 90% de gasolina), pero Brasil ha introducido con éxito mezclas mayores, apoyado en el vehículo de combustible flexible, "flex" o "vehículo de dos combustibles", el cual es fabricado con un motor de combustión interna convencional que funciona con cualquier proporción de gasolina y etanol hídrico. En Brasil se produce etanol extraído de la caña de

azúcar en grandes volúmenes que compite favorablemente con la gasolina bajo los actuales precios del petróleo. La producción actual de etanol usa predominantemente cosechas de azúcar o almidón, limitando las materias primas disponibles. Las nuevas tecnologías podrían permitir también el uso de lignocelulosa como materia prima para generar etanol. Actualmente, éste es uno de los ámbitos más avanzados de la investigación en materia de tecnologías energéticas (Lamers, Hamelinck, Junginger, & Faaij, 2011).

1.4.1. Experiencias en Ecuador

La experiencia se remonta a la producción de etanol en el proyecto piloto Ecopaís, en la ciudad de Guayaquil. Este proyecto se lanzó el 12 de enero de 2011 y su objetivo es comercializar un nuevo combustible denominado ecopaís®, mezcla de 95% gasolina extra y 5% de etanol anhidro.

El plan piloto está produciendo actualmente alrededor de 80.000 galones diarios de ecopaís®, para lo cual demanda 4.000 galones de etanol (unos 15.000 litros) que le provee Producargo, productora de alcohol del ingenio estatal Ecados (La Troncal). Con esta producción, se sustituyó la gasolina extra por ecopaís® en 19 estaciones de servicio en Guayaquil. Además, Producargo ha requerido utilizar 5.000 litros diarios de etanol provenientes de Loja. Así, el abastecimiento total es de 20.000 litros. El plan piloto ya demostró su viabilidad en cuanto a la existencia del mercado y la aceptación del producto, pero se encuentra limitado para reemplazar toda la gasolina extra de Guayaquil por la mezcla ecopaís® por la falta de producción de etanol en el país. Cabe señalar que Producargo estuvo importando melazas de Perú, igualmente importa de Bolivia alcohol crudo de 92 grados para cubrir parte de su producción actual diaria (Gomelski, Chilingua, & Figueroa, 2011).

En el caso de biodiesel, existe desde mayo de 2010 una planta piloto que produce 100 litros cada seis horas en Ibarra, en la Universidad Católica del Ecuador de esta ciudad. Los aceites que procesa provienen de materias primas como higuierilla y la jatropha, dos plantas oleaginosas de donde se extrae un aceite de uso industrial no comestible. El biodiesel producido es suficiente para que un vehículo pueda funcionar sin realizar adaptaciones al motor. Además, en este proceso se obtiene harina de alto contenido en proteínas para la ganadería, procedente de los restos de las cáscaras de semillas. Con la tecnología que opera esta planta, una de las principales barreras a la comercialización en gran escala es el costo. Este es tres veces superior al de diésel común.

La producción de palma en Ecuador es usada para la producción de aceite. Al momento, no se refina biodiesel ni para venta externa ni para consumo interno. Esto, a pesar de que en el 2006 el 41% de la producción de aceite de palma, cerca de 140.000 toneladas, se exportó al exterior y parte de esta cantidad se destinó a refinación de biodiesel en otros países (Castro, 2012)

1.5. Vehículos eléctricos

La opción de vehículos eléctricos son una de las opciones tecnológicas disponibles en la actualidad y con un desarrollo interesante en el futuro (García Ramos, 2011). La oferta actual es de vehículos 100% eléctricos y de vehículos híbridos, que son una opción que permite el uso mixto de tipos de combustibles, siendo el uso más común para el auto 100% eléctrico en la ciudad y para rutas largas, motor eléctrico con ayuda de un motor de combustión.

Los vehículos eléctricos plantean oportunidades de desarrollo de sistemas electrónicos que permitan un uso más eficiente de energía en el vehículo.

1.5.1. Tipos de vehículos eléctricos

1.5.1.1. Híbridos:

Se conoce como vehículo híbrido a aquel que cuenta con un motor de combustión interna y con uno o más motores eléctricos que, en conjunto, generan la energía para impulsar el vehículo.

1.5.1.2. Híbrido en paralelo:

El motor de combustión interna y el motor eléctrico se instalan de tal manera que el vehículo es impulsado por ambos motores o de manera individual.

1.5.1.3. Híbrido paralelo ligero:

En general utilizan un motor eléctrico compacto, ayudándose con el automático del sistema *stop - start* y el uso del freno regenerativo; con ambas tecnologías se ayuda a proporcionar más energía.

1.5.1.4. Híbrido serie-paralelo:

Usan, de manera conjunta, un motor de combustión interna y otro eléctrico; en este caso, se pueden utilizar de manera independiente los motores o en conjunto para obtener la potencia requerida, por ejemplo, para rebasar. El motor de combustión interna también puede actuar como generador de carga en las baterías.

1.5.1.5. Híbrido en serie:

También es denominado vehículo eléctrico de autonomía extendida. Se impulsa con un motor eléctrico y cuenta con otro motor de combustión interna para el funcionamiento de un generador en caso de que falte energía para mover el vehículo.

1.5.1.6. Beneficios de los híbridos:

1. El ahorro de combustible es de alrededor del 50%, a diferencia de un vehículo dotado únicamente con motor de combustión interna, dependiendo del modo de manejo de cada persona.
2. A diferencia de un vehículo 100% eléctrico, el híbrido no se tiene que recargar, gracias al motor de combustión interna y al freno regenerativo.
3. El rendimiento que ofrece el motor eléctrico ayuda a reducir en forma considerable el consumo de gasolina en la ciudad.
4. La disminución de emisiones contaminantes puede llegar hasta 80%.
5. Este tipo de vehículos no contamina con ruido al medio ambiente (CONUEE, 2017).

1.5.1.7. Eléctricos de baja autonomía (100 – 400km):

Estos son los que cuentan con una serie de baterías, normalmente de iones de litio o hierro-fosfato, y que alimentan un motor eléctrico, por tanto el consumo de combustible es nulo al carecer de motor de combustión, y las emisiones igual. Estos vehículos hay que recargarlos enchufándolos a la red eléctrica, cuya carga suele tardar cerca de 7-8 horas, incluso algunos permiten una carga rápida (Moreira, 2010).

1.5.1.8. Eléctricos de baja velocidad (40 – 70 km/h):

Los vehículos eléctricos de baja velocidad están ganando relevancia principalmente en China, donde surgió como un competidor tanto a los vehículos eléctricos convencionales y de dos ruedas. Estos generalmente tienen una velocidad máxima de entre 40 km/h y 70 km/h, tienen baja autonomía, en algunos casos utilizan baterías de plomo-ácido y tecnología básica del motor. Los principales atractivos son su bajo costo y su pequeño tamaño.

1.5.1.9. Eléctricos de dos o tres ruedas:

Las motocicletas y vehículos de tres ruedas conforman este grupo que es dominado en su mayoría por el mercado chino y con experiencias de grandes avances gracias a políticas de introducción al mercado, y con bajos impuestos que los hacen competitivos con los vehículos tradicionales de combustión interna (IEA, 2017).

1.5.1.10. Buses eléctricos:

El stock global de buses eléctricos a batería creció a cerca de 345.000 vehículos en 2016, el doble del número en 2015. China surge como el líder mundial en la electrificación de los autobuses. Según las estadísticas disponibles, el stock de autobuses eléctricos en China llegó a 343.500 unidades en 2016. Dentro de China, Shenzhen es una de las ciudades más ambiciosas a nivel mundial con respecto a la electrificación y la modernización de sus sistemas de autobuses. En 2016, cientos de autobuses eléctricos ya estaban en funcionamiento. Shenzhen también ha establecido el objetivo de tener una flota de autobuses 100% eléctricos en 2017 (IEA, 2017).

1.5.2. Experiencias en Ecuador

En Ecuador en el año 2015 como parte del cumplimiento con el compromiso de la presidencia N° 21898 denominado, “Todo el apoyo para producción de vehículos eléctricos”, se ha realizado un informe donde se realizaron pruebas a tres modelos de vehículos eléctricos en distintas ciudades (Quito, Guayaquil y Cuenca) y diferentes recorridos, esto a fin de determinar variables como la autonomía, consumo de energía, duración de la carga eléctrica y desempeño (ARCONEL, 2015). Se buscaba iniciar la introducción de vehículos eléctricos al parque automotor del país.

Las pruebas se realizaron a tres modelos de vehículos de diferentes fabricantes, estos fueron el Nissan Leaf, Renault Kangoo y el Kia Soul. Todos modelos de vehículos con capacidad de carga de 5 personas y de características de diseño como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Pruebas de introducción de vehículos eléctricos a las principales ciudades de Ecuador

Modelo	Autonomía	Potencia	Baterías
Nissan Leaf	135 km	80 kW	24 kWh
Renault Kangoo	160 km	22 kW	22 kWh
Kia Soul	200 km	81,4 kW	27 kWh

Fuente: (ARCONEL, 2015)

El estudio demostró que el vehículo Nissan Leaf es el que mayor eficiencia energética presenta, ya que la relación entre el consumo energético y el kilometraje alcanzado fue superior a los demás vehículos. De esta forma el costo energético del mismo fue inferior al de los demás, y este ronda los 1,52 \$/100km (ARCONEL, 2015).

Así mismo el estudio revela que para lograr esta meta de introducir tecnología de vehículos eléctricos en el parque automotor ecuatoriano, se requieren cambios en políticas de consumo energético a nivel de incentivar la sustitución de vehículos de combustión interna por los eléctricos. También es necesario crear la infraestructura para la carga de los vehículos en la ciudad y carreteras. La carga de ciclo largo en los hogares aún debe ser estudiada, se deberán ajustar las tarifas eléctricas.

También en el año 2015 se realizó un estudio para determinar la eficiencia energética de un vehículo eléctrico de marca BYD Auto, en específico el modelo E6 (5 plazas hatchback) (INER, 2015). En este estudio las conclusiones relevantes son que el vehículo cuenta con las condiciones necesarias de seguridad y desempeño para las vías y reglamentos internos del país, como desventaja se presentó la altura del vehículo, ya que es muy bajo y colisiona con los bordillos y reductores de velocidad. En cuanto a la autonomía, fue un ensayo muy significativo ya que el vehículo presentó la mayor autonomía de los vehículos probados en el país a la fecha, con 225 km. En cuanto al consumo de energía o rendimiento, el mismo se mostró en 22 kW/km en promedio. También se comprobó la aceleración inicial en una prueba de tiempo para alcanzar la velocidad de 0 a 100km/h, que se verificó en 19 segundos.

Otra experiencia relevante en el país se tuvo en la isla Santa Cruz de Galápagos en el año 2018 donde se realizó un estudio similar al anterior pero de un alcance más amplio con relación a la variedad de marcas y tipos de vehículos a probar (ARCONEL, 2018). En este caso se estudiaron 5 vehículos particulares y 2 motocicletas, en pruebas de recorridos alrededor de la isla. La descripción de los vehículos se presenta en la Tabla 5 a continuación.

Tabla 5. Pruebas de introducción de vehículos eléctricos a Galápagos

Marca del vehículo	Autonomía (km)	Batería (kWh)	Potencia del motor (kW)	Tipo de vehículo
Volkswagen Golf	190	21,2	85	Automóvil
Nissan Leaf	199	24	80	Automóvil
Renault Kangoo	160	22	44	VAN
Renault Twizy	100	7	13	
Mitsubishi Outlander	52	12	2x60	SUV
E-Motion D4	50	1,2	0,8	Motocicleta
E-Motion D14	60	1,44	2	Motocicleta

Fuente: (ARCONEL, 2018)

Las conclusiones y recomendaciones de este estudio reflejan la necesidad de revisar la capacidad eléctrica instalada en Galápagos, quien no forma parte del SNI, ya que este escenario sería el más crítico y que presenta déficit energético para el funcionamiento del parque de vehículos eléctricos. Se recomienda revisar temas tarifarios del servicio eléctrico para la carga de baterías de estos vehículos, esto para poder hacer viable la introducción de los mismos.

Para los vehículos (automóvil, VAN y SUV) analizados se obtuvo que la potencia eléctrica demandada por cada carga de un vehículo (diario) es de 500W (ARCONEL, 2018). Los resultados obtenidos para el caso de las motocicletas no son concluyentes para la toma de decisiones ya que las mismas no poseen estándares, ni características comparables para otros modelos de motocicletas.

1.6. Planificación energética integrada

La planificación energética es una metodología sistemática y analítica que procesa convenientemente información de la demanda, transformación y suministro de energía, y genera a partir de esto estrategias para alcanzar los objetivos de Largo plazo definidos.

La OLADE, Organización Latinoamericana de Energía (OLADE, 2016) con el objeto de propiciar el fortalecimiento y el desarrollo en aspectos de planificación energética en los organismos ministeriales del sector energético de los países miembros, tomando en cuenta la realidad actual del sector energético, sus necesidades de desarrollo económico, como aquellos referentes a cambios institucionales, el comportamiento impredecible de los precios de los combustibles, la necesidad de cumplimiento de compromisos de carácter

ambiental y ecológico y, a fin de que sirva para orientar a los responsables de desarrollar la política energética y planes de largo plazo, desarrolló el manual de planificación energética de la OLADE, para detalles remitirse al anexo C.

1.7. Análisis de descomposición de índices

El análisis de descomposición de índices (IDA, por sus iniciales en inglés) tiene como objetivo desagregar la variable a analizar en diferentes factores explicativos.

En el caso de la intensidad energética, la descomposición comprende dos efectos: el efecto estructura (EE), que proporciona una medida de cambio en la intensidad energética debido a la variación relativa del peso de las mercancías más intensivas energéticamente en su transporte, y el efecto intensidad, (EI), como indicador de la variación de la intensidad energética debida a la variación de la eficiencia energética aparente de los vehículos de transporte por carretera de mercancías medida como consumo energético por tonelada transportada por kilómetro recorrido. Esta variación puede deberse a un cambio en el consumo de combustible por tonelada-kilómetro, al tráfico, a las condiciones de conducción, o al estado de las carreteras, entre otros factores (Andrés & Padilla, 2014).

En la actualidad, se han utilizado varios métodos de descomposición para cuantificar el impacto de diferentes factores en el cambio de consumo de energía y emisiones de CO₂ (Wang, Zhang, & Zhou, 2011), como la regresión econométrica, el análisis de descomposición estructural (SDA) y el análisis del índice de descomposición (IDA). No se tiene un consenso en cuanto a cuál es el mejor método de descomposición. Sin embargo, Ang y Zang compararon varios métodos de análisis de descomposición de índices, concluyendo que el método LMDI "*Logarithmic Mean Divisia Index*" era el método preferido (Ang & Zhang, 2000)

El método LMDI es el método logarítmico de índice divisia, es una suma ponderada de las tasas de crecimiento logarítmico, donde los pesos representan una proporción de los componentes en el valor total, dados en la forma de una integral lineal (Fernández, 2012), (Toro, 2016).

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se basa en un estudio prospectivo del sector transporte de Ecuador y su incidencia en la matriz energética en el periodo 2017 – 2040, con el objetivo de evaluar diversos escenarios enfocados en el sector transporte, que permitan usar adecuadamente los recursos energéticos con los que cuenta el país, además de disminuir la emisión de GEI en el sector transporte y de reducir las importaciones de combustibles fósiles.

Para ello se plantea el análisis de distintos escenarios, lo cual constituye la principal técnica para la exploración de futuros posibles o plausibles (Rodríguez, 2010). Estos escenarios sirven para evaluar el sector transporte, planteando proyectos piloto en el grupo de vehículos de alquiler (taxis), para la sustitución de vehículos tradicionales de combustión interna por vehículos eléctricos, aprovechando así el potencial de los proyectos hidroeléctricos del país, y la participación de biocombustibles.

La técnica de los escenarios permite vislumbrar posibles aspectos de cambio a la matriz energética que se tiene a la fecha, tomando como base la información de planificación de futuros proyectos, introducción de nuevos actores en la agenda energética, cumplimiento de cuotas, y compromisos ambientales. En base a esta información se proponen posibles escenarios para posteriormente hacer el análisis prospectivo y determinar sus implicaciones (OLADE, 2016), ver Anexo B. Un escenario posible es el aumento del porcentaje de bioetanol de 5% a 10% (gasolina ecopaís®), y la introducción del biodiesel para el grupo de vehículos de carga.

Para escoger la herramienta computacional que será utilizada (Anexo C), se desarrolló una matriz de selección del programa computacional más idóneo para uso en la presente investigación, siendo seleccionado el LEAP versión 2018 (*Long-range Energy Alternatives Planning System*), por presentar la mayor cantidad de características de compatibilidad con los objetivos pretendidos en la presente investigación

El desarrollo del modelo, premisas, escenarios y variables macroeconómicas del modelo desarrollado en LEAP, se presentan detalladas en el anexo A.

2.1. LEAP®

LEAP (*long-range energy alternatives planning system*) es una herramienta computacional

de modelamiento integral para monitorear el consumo energético, la producción y extracción de recursos en todos los sectores de la economía, análisis de política energética y la evaluación de los GEI. LEAP tiene origen en USA en 1980 y es actualmente mantenido por el “*Stockholm Environment Institute*” (SEI, 2008). Este modelo ha sido adoptado en más de 150 países en el mundo y sus usuarios incluyen agencias del gobierno, academias, organizaciones no gubernamentales, compañías consultoras, y utilidades energéticas. Ha sido utilizada en diferentes escalas desde ciudades y estados hasta aplicaciones regionales, nacionales y globales.

LEAP es una herramienta que puede ser usada para modelar diferentes sistemas de energía, tradicionalmente usa la técnica *bottom-up*. En la parte de oferta, LEAP provee un rango de metodologías de conteo y simulación que permiten modelar planes de generación y expansión de capacidad, la metodología es lo suficientemente flexible y transparente para permitir la incorporación de datos y análisis de resultados (SEI, 2008).

LEAP usa acercamientos econométricos y de simulación. Inicialmente no incluía la optimización en el módulo de despacho, sin embargo en el primer semestre de 2012 y conjuntamente con la *International Atomic Energy Agency* (IAEA) de Viena, se desarrolló ese módulo.

LEAP se orientó como una herramienta de modelamiento a mediano y largo plazo. La mayoría de sus cálculos ocurren en un lapso de tiempo anual, y el horizonte puede ser extendido a un número ilimitado de años (Heaps, 2017).

El modelo está diseñado alrededor del concepto de análisis de escenarios de largo plazo. Los escenarios son auto consistentes con la forma en que un sistema de energía debe evolucionar con el tiempo. Usando LEAP, los encargados del análisis de políticas energéticas pueden desarrollar modelos de posibles escenarios para la evaluación y comparación de variables como la demanda energética, costos, aspectos sociales y finalmente el impacto ambiental. El administrador de escenarios de LEAP puede ser usado para describir medidas de políticas individuales que pueden ser arregladas en diferentes combinaciones y permutaciones en escenarios alternativos integrados. Esta capacidad permite a aquellos encargados de formular políticas, la evaluación de impactos marginales de una política de forma individual así como cuando se tiene la interacción de combinaciones múltiples de políticas o medidas (Heaps, 2017).

2.2. Escenario base

La presente investigación ha dado inicio a comienzos del año 2016, por esta razón se utiliza la información de balance energético nacional (BEN) del año 2014 (MICSE, 2015), que es el más completo para la fecha, donde se puede resumir la matriz energética del país.

2.2.1. Variables macroeconómicas y demográficas

La Tabla 6 muestra las variables macroeconómicas y demográficas de Ecuador en el 2014 en base a la proyección realizada por el INEC en el 2010.

Tabla 6. Variables macroeconómicas y demográficas de Ecuador en el 2014

Variables	Valor	Unidad	Fuente
Ingreso per cápita	6.345,84	US\$	(Banco Mundial, 2016)
Población (proyección)	15,5	Millones personas	(INEC, 2010)
Personas por hogar (proyección)	3,7	Personas	(INEC, 2010)
Número de hogares (proyección)	4,2	Millones hogares	(INEC, 2010)
Producto interno bruto (PIB)	100,92	Billones US\$	(Banco Mundial, 2016)
Tasa de crecimiento del Ingreso per cápita	2,1	%	(Banco Mundial, 2016)
Tasa de crecimiento poblacional (proyección)	1,25	%	(INEC, 2010)

Fuentes: (Banco Mundial, 2016), (INEC, 2010)

2.2.2. Valores de la demanda energética del sector transporte

Inicialmente es importante caracterizar el crecimiento del parque automotor del Ecuador basándose en las proyecciones prospectivas del crecimiento del periodo 2003 – 2014 publicado en el Anuario de Estadísticas de Transporte por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (INEC, 2015).

En base a los datos de crecimiento observados en el periodo 2003 – 2014 se proyectó el crecimiento hasta el 2040. Este comportamiento se observa en el Figura 5, de donde se estima que el crecimiento del parque automotor de mantener un comportamiento polinómico de segundo grado, como el observado en los primeros años del histórico,

llegaría a un valor de 8.863.614 vehículos en el 2040.

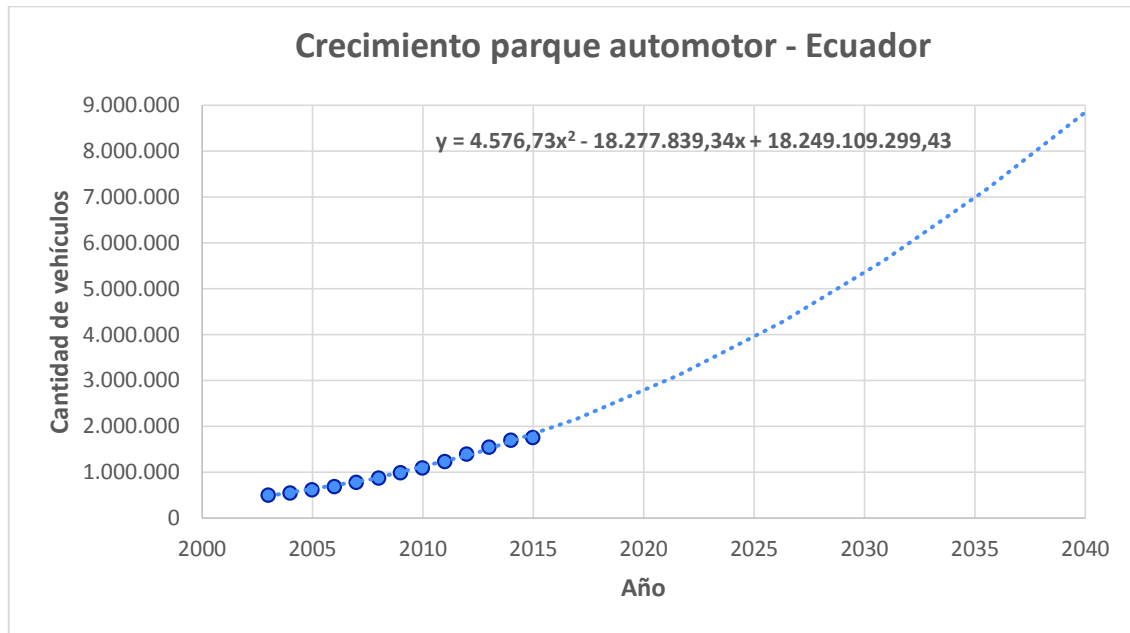


Figura 5. Cantidad de vehículos en el parque automotor del sector transporte de Ecuador en el periodo 2003 - 2040

Se realizó una discriminación del total de vehículos y se separaron en vehículos livianos y pesados (de carga), y dentro de estos dos grandes grupos se especificó por tipo de vehículos, diferenciándose casos como por ejemplo, jeeps, furgonetas, motocicletas, camiones, entre otros. Con ello se desarrolló un desglose al detalle, donde se especifica qué tipo de combustible se usa por tipo de vehículo (Ver Tablas 7 y 8). La información se fundamenta en el Anuario Nacional de Transporte (INEC, 2015).

Tabla 7. Desglose de vehículos livianos por tipo de vehículo vs. tipo de combustible en 2014

LIVIANOS (cantidad de vehículos)						
Combustibles	Automóvil	Autobús	Furgoneta P	Jeep	Motocicleta	Otra clase
Diésel	1.233	11.092	2.238	4.950	91	2.294
Gasolina	526.274	206	39.070	253.767	404.985	363
Híbrido	1.833	0	46	2.080	2	1
Eléctrico	11	1	0	14	1	0
GLP	170	1	20	66	94	0

Fuente: (INEC, 2015)

Tabla 8. Desglose de vehículos de carga por tipo de vehículo vs. tipo de combustible al año 2014

Combustibles	CARGA (cantidad de vehículos)						
	Camión	Camioneta	Furgoneta	Tanquero	Tráiler	Volqueta	Otra clase
Diésel	74.389	63.749	13.744	2.384	6.839	9.646	2.293
Gasolina	4.261	304.951	18.493	127	76	296	362
Híbrido	0	93	0	0	0	0	0
Eléctrico	1	5	0	0	2	0	0
GLP	1	92	5	0	0	0	0

Fuente: (INEC, 2015)

2.2.2.1. Demanda energética por tipo de combustible de los vehículos livianos

En las Tablas 9 a 14, que se derivan de la Tabla 7 “Desglose de vehículos livianos por tipo de vehículo vs. tipo de combustible en 2014”, se muestra el detalle del consumo (kBEP) para cada clase de vehículo (automóvil, autobús, furgoneta P, Jeep, motocicleta, otra clase), de combustible (diésel, gasolina, híbrido, eléctrico GLP) por tipo de usuario del vehículo (particular, alquiler, estado, municipio, gobierno seccional y otros).

Tabla 9. Demanda del sector transporte – Veh. Liviano – Automóvil (kBEP)

Combustibles	Automóvil (Cant.)	Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos seccionales	Otros
				95,353%	4,530%	0,109%	0,003%
Diésel	1.233	113,455	5,390	0,130	0,004	0,00022	0,005
Gasolina	528.107	5.582,815	265,245	6,380	0,188	0,011	0,254
Híbrido	1.833						
Eléctrico	11	1,259	0,060	0,001	0,00004	0,000002	0,000
GLP	170	30,326	1,441	0,035	0,001	0,0001	0,001

Fuente: (INEC, 2015) (MICSE, 2015)

Tabla 10. Demanda del sector transporte – Veh. Liviano – Autobús (kBEP)

Combustibles	Autobús (Cant.)	Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos seccionales	Otros
				12,425%	80,531%	6,336%	0,602%
Diésel	11.092	132,991	861,981	67,822	6,441	1,042	0,095
Gasolina	206	0,284	1,839	0,145	0,014	0,002	0,00020
Híbrido	0						
Eléctrico	1	0,015	0,097	0,008	0,001	0,0001	0,00001
GLP	1	0,023	0,151	0,012	0,001	0,0002	0,00002

Fuente: (INEC, 2015) (MICSE, 2015)

Tabla 11. Demanda del sector transporte – Veh. Liviano – Furgoneta P (kBEP)

		Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos seccionales	Otros
Combustibles	Furgoneta P (Cant.)	99,118%	0,524%	0,341%	0,005%	0,002%	0,010%
	Diésel	2.238	214,061	1,133	0,736	0,010	0,005
	Gasolina	39.070	429,331	2,272	1,476	0,021	0,010
	Hibrido	46					
	Eléctrico	0	0,000				
	GLP	20	3,709	0,020	0,013	0,000	0,0001

Fuente: (INEC, 2015) (MICSE, 2015)

Tabla 12. Demanda del sector transporte – Veh. Liviano – Jeep (kBEP)

		Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos seccionales	Otros
Combustibles	Jeep (Cant.)	98,032%	0,007%	1,711%	0,223%	0,027%	0,001%
	Diésel	4.950	468,272	0,031	8,172	1,066	0,128
	Gasolina	255.847	2.780,644	0,185	48,525	6,328	0,761
	Hibrido	2.080					
	Eléctrico	14	1,647	0,000	0,029	0,004	0,0005
	GLP	66	12,104	0,001	0,211	0,028	0,0033

Fuente: (INEC, 2015) (MICSE, 2015)

Tabla 13. Demanda del sector transporte – Veh. Liviano – Motocicleta (kBEP)

		Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos seccionales	Otros
Combustibles	Motocicleta (Cant.)	98,242%	0,231%	1,208%	0,304%	0,015%	0,0002%
	Diésel	91	8,627	0,020	0,106	0,027	0,001
	Gasolina	404.985	4.410,949	10,372	54,232	13,652	0,676
	Hibrido	2					
	Eléctrico	1	0,118	0,0003	0,001	0,00036	0,000018
	GLP	94	17,277	0,041	0,212	0,053	0,0026

Fuente: (INEC, 2015) (MICSE, 2015)

Tabla 14. Demanda del sector transporte – Veh. Liviano – Otra Clase (kBEP)

		Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos seccionales	Otros
Combustibles	Otra Clase (Cant.)	62,114%	8,804%	18,924%	9,895%	0,263%	0,00%
	Diésel	2.294	137,502	19,489	41,892	21,904	0,583
	Gasolina	363	2,500	0,354	0,762	0,398	0,011
	Hibrido	1					
	Eléctrico	0	0	0	0	0	0
	GLP	0	0	0	0	0	0

Fuente: (INEC, 2015) (MICSE, 2015)

2.2.2.1. Demanda energética por tipo de combustible de los vehículos de Carga

De manera equivalente al acápite anterior, en las tablas 15 a 21, que se derivan de la Tabla 8, “Desglose de vehículos de carga por tipo de vehículo vs. tipo de combustible al año 2014”, se muestra el detalle del consumo (kBEP) para cada clase de vehículo (camión, camioneta, furgoneta, tanquero, tráiler, volqueta, otra clase), de combustible (diésel, gasolina, híbrido, eléctrico GLP) por tipo de usuario del vehículo (particular, alquiler, estado, municipio, gobierno seccional y otros).

Tabla 15. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Camión (kBEP)

		Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos seccionales	Otros
Combustibles	Camión (Cant.)	82,059%	16,072%	1,213%	0,594%	0,058%	0,004%
Diésel	74.389	5.890,601	1.153,733	87,071	42,623	4,198	0,274
Gasolina	4.261	38,765	7,592	0,573	0,280	0,028	0,002
Hibrido	0						
Eléctrico	1	0,098	0,0193	0,001	0,00071	0,000070	0,000005
GLP	1	0,154	0,030	0,002	0,001	0,0001	0,00001

Fuente: (INEC, 2015) (MICSE, 2015)

Tabla 16. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Camioneta (kBEP)

		Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos seccionales	Otros
Combustibles	Camioneta (Cant.)	94,774%	1,704%	2,895%	0,548%	0,076%	0,004%
Diésel	63.749	5.830,241	104,811	178,104	33,686	4,669	0,233
Gasolina	304.951	3.204,169	57,602	97,882	18,513	2,566	0,128
Hibrido	93						
Eléctrico	5	0,569	0,0102	0,017	0,00329	0,00046	0,000023
GLP	92	16,312	0,293	0,498	0,094	0,0131	0,00065

Fuente: (INEC, 2015) (MICSE, 2015)

Tabla 17. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Furgoneta C (kBEP)

		Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos seccionales	Otros
Combustibles	Furgoneta C (Cant.)	87,774%	10,849%	1,191%	0,158%	0,025%	0,003%
Diésel	13.744	1.164,133	143,892	15,796	2,098	0,329	0,041
Gasolina	18.493	179,957	22,243	2,442	0,324	0,051	0,006
Hibrido	0	0	0	0	0	0	0
Eléctrico	0	0	0	0	0	0	0
GLP	5	0,821	0,101	0,011	0,001	0,0002	0,00003

Fuente: (INEC, 2015) (MICSE, 2015)

Tabla 18. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Tanquero (kBEP)

		Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos seccionales	Otros	
Combustibles	Tanquero (Cant.)	57,228%	28,355%	7,368%	5,376%	1,633%	0,040%	
	Diésel	2.384	131,656	65,233	16,949	12,369	3,756	0,092
	Gasolina	127	0,806	0,399	0,104	0,076	0,023	0,001
	Hibrido	0	0	0	0	0	0	0
	Eléctrico	0	0	0	0	0	0	0
	GLP	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: (INEC, 2015) (MICSE, 2015)

Tabla 19. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Tráiler (kBEP)

		Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos seccionales	Otros	
Combustibles	Tráiler (Cant.)	42,880%	55,212%	1,099%	0,651%	0,159%	0,000%	
	Diésel	6.839	282,990	364,376	7,251	4,294	1,050	0,000
	Gasolina	76	0,361	0,465	0,009	0,005	0,001	0,000
	Hibrido	0						
	Eléctrico	2	0,103	0,133	0,003	0,002	0,0004	0,000
	GLP	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: (INEC, 2015) (MICSE, 2015)

Tabla 20. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Volqueta (kBEP)

		Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos seccionales	Otros	
Combustibles	Volqueta (Cant.)	56,860%	26,976%	5,834%	8,107%	2,223%	0,000%	
	Diésel	9646	529,27	251,10	54,30	75,462	20,69	0
	Gasolina	296	1,866	0,885	0,191	0,266	0,0729	0
	Hibrido	0	0	0	0	0	0	0
	Eléctrico	0	0	0	0	0	0	0
	GLP	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: (INEC, 2015) (MICSE, 2015)

Tabla 21. Demanda del sector transporte – Veh. Carga – Otra Clase (kBEP)

		Particular	Alquiler	Estado	Municipio	Gobiernos seccionales	Otros	
Combustibles	Otra clase	62,161%	8,773%	18,901%	9,864%	0,264%	0,038%	
	Diésel	2.293	137,546	19,411	41,822	21,827	0,583	0,083
	Gasolina	362	2,495	0,352	0,759	0,396	0,011	0,002
	Hibrido	0	0	0	0	0	0	0
	Eléctrico	0	0	0	0	0	0	0
	GLP	0	0	0	0	0	0	0
	Kerosene/Jet Fuel	1	0	0	0	0	0	0,00294

Fuente: (INEC, 2015) (MICSE, 2015)

2.2.3. Valores de la demanda energética del sector industria

Según (MICSE, 2015), la demanda global de 19 MBEP y el costo de 1 BEP en US\$ es de 84\$/BEP, como se muestra en la Tabla 21, de donde se deduce un costo unitario de 102,97 \$/persona, ya que de costo/persona = $(19 \times 10^6 \text{BEP}) / (15,5 \times 10^6 \text{ persona}) \times (84 \$/1\text{BEP})$. Se obtiene costo/persona = 102,97\$/persona, mostrado en los totales de la Tabla 22.

Tabla 22. Demanda del sector industria (2014)

Descripción	Valor	Unidad
Demanda	19	MBEP
Población	15,5	MPersona
BEP	84	\$/BEP

INDUSTRIA	%	MBEP
Diésel	39,97	7,59
Gasolinas	0,03	0,01
LPG	3,00	0,57
Electricidad	28,00	5,32
Caña	10,00	1,90
Leña	2,00	0,38
Gas Natural	2,00	0,38
Kerosene / Jet Fuel	1,00	0,19
Fuel Oíl	14,00	2,66
TOTAL	100,00	19,00

Fuente: (MICSE, 2015)

2.2.4. Valores de la demanda energética del sector residencial

De forma equivalente para la demanda del sector residencial, se tiene según (MICSE, 2015), tal como se observa en la Tabla 23, que la demanda global del sector es de 12 MBEP, el total de hogares es de 4,2 Mhogares, resultando un consumo de 12 MBEP/4,2 Mhogares igual a 2,857 BEP/hogar, el costo de 1 BEP es de 84 \$/BEP, entonces en US\$, se tiene un consumo por hogar de 240 \$/hogar, es decir $(2,875 \text{ BEP/hogar}) \times (84 \$/\text{BEP})$, igualmente la Tabla 23, desglosa el sector energético en LPG, electricidad, Leña y, keroseno/jet fuel.

Tabla 23. Demanda del sector residencial

Descripción	Valor	Unidad			
Demanda	12,00	MBEP			
Numero Hogares	4,2	Mhogares			
RESIDENCIAL	%	MBEP	Urbano 68,2%	Rural 31,8%	\$/hogar
LPG	53,00	6,36	4,34	2,02	127,20
Electricidad	33,00	3,96	2,70	1,26	79,20
Leña	14,00	1,68	1,15	0,53	33,60
Kerosene / Jet Fuel	0,002	0,0002	0,0002	0,0001	0,004
TOTAL	100,002	12,0002	8,1902	3,8101	240,004

Fuente: (MICSE, 2015)

2.2.5. Valores de la demanda energética del sector comercial

La demanda global del sector comercial es de 6 MBEP (MICSE, 2015), como se observa en la Tabla 24, refiriéndose al costo unitario del BEP de 84 \$/BEP y a la población de 15,5 Mpersona, se tiene proyectando al sector comercial en la población total de 35,52 \$/persona.

Tabla 24. Demanda del sector comercial

Descripción	Valor	Unidad			
Demanda	6,00	MBEP			
COMERCIAL	%	MBEP			
LPG	7,00	0,42			
Electricidad	52,00	3,12			
Fuel Oil	4,00	0,24			
Diésel	37,00	2,22			
TOTAL	100	6,00			

Fuente: (MICSE, 2015)

2.2.6. Valores de la demanda energética por tipo de fuente

En la Tabla 25, se detalla la demanda por fuente (MICSE, 2015), totalizándose en la demanda global que es de 101,81 MBEP.

Tabla 25. Demanda por fuente

Descripción	Valor	Unidad
Demanda	101,81	MBEP
Por Fuente	%	MBEP
Diésel	31,00	31,31
Kerosene/Jet Fuel	3,00	3,03
Gasolinas	28,00	28,28
LPG	8,00	8,08
Electricidad	14,00	14,14
Caña	2,00	2,02
Leña	2,00	2,02
Gas Natural	0,30	0,30
Petróleo	1,00	1,01
Otras	0,50	0,51
No Energético	3,00	3,03
Fuel Oil	8,00	8,08
TOTAL	100,00	101,81

Fuente: (MICSE, 2015)

2.3. Proyección del escenario base

2.3.1. Selección del rango de estudio y periodos

La base de definición de los plazos de los escenarios de la presente investigación son los tratados de Kyoto (Naciones Unidas, 1992), las conclusiones del Consejo Europeo de octubre de 2014 (Consejo Europeo, 2014) y la Agenda 2030 de la ONU (United Nations, 2015). En el primer caso las naciones que conforman la ONU en el tratado de Kyoto acordaron varios plazos de metas de mitigación de los GEI, donde se analiza el periodo comprendido entre los años 2013 – 2020, es por ello que se toma en este caso particular la primera meta (corto plazo) con un periodo coincidente 2017 – 2020, a fin de medir en el 2020 los efectos de los cambios propuestos.

El segundo periodo de este estudio (mediano plazo) se fija entre el 2020 y el 2030, siendo este último año coincidente con el año de meta del Consejo Europeo y también de la recientemente creada Agenda 2030 de la ONU, que establece una cooperación internacional lo más amplia posible para acelerar la reducción de las emisiones mundiales de GEI y abordar la adaptación a los efectos adversos del cambio climático global, y la sustitución mejora de los consumos de combustibles fósiles por energías renovables.

Finalmente, el último periodo de estudio (largo plazo) se define entre 2030 y 2040, siendo

esta última década necesaria para establecer los cambios profundos que requiere la matriz ecuatoriana para una sustitución importante de los combustibles fósiles por energías alternativas de fuentes renovables.

2.3.2. Plan de sustitución de vehículos eléctricos

El 11 de abril de 2014, se crea el Compromiso Presidencial 21 898 “Todo apoyo para producción de vehículos eléctricos”, en virtud de la necesidad de fomentar su uso como una alternativa de movilidad limpia y sostenible, y utilización eficiente de la energía eléctrica producida a través del programa de cambio de matriz energética. Se encargaron las actividades de coordinación con los demás sectores involucrados al Ministerio Coordinador de la Producción Empleo y Competitividad – MCPEC, cuya meta propuesta es llegar a 20.000 vehículos eléctricos en el año 2020 (MEER, 2016).

En el Figura 6, se detalla el incremento que se tiene planificado en cuanto a introducción de vehículos eléctricos en Ecuador hasta el año 2020.

Para proyectar el crecimiento del parque automotor eléctrico del Ecuador a partir de 2020 y hasta 2040, se tiene que calcular basada en la proyección mundial del crecimiento del parque automotor eléctrico de los próximos años, ya que a la fecha no hay en el país una previsión de estos valores más allá del 2020.

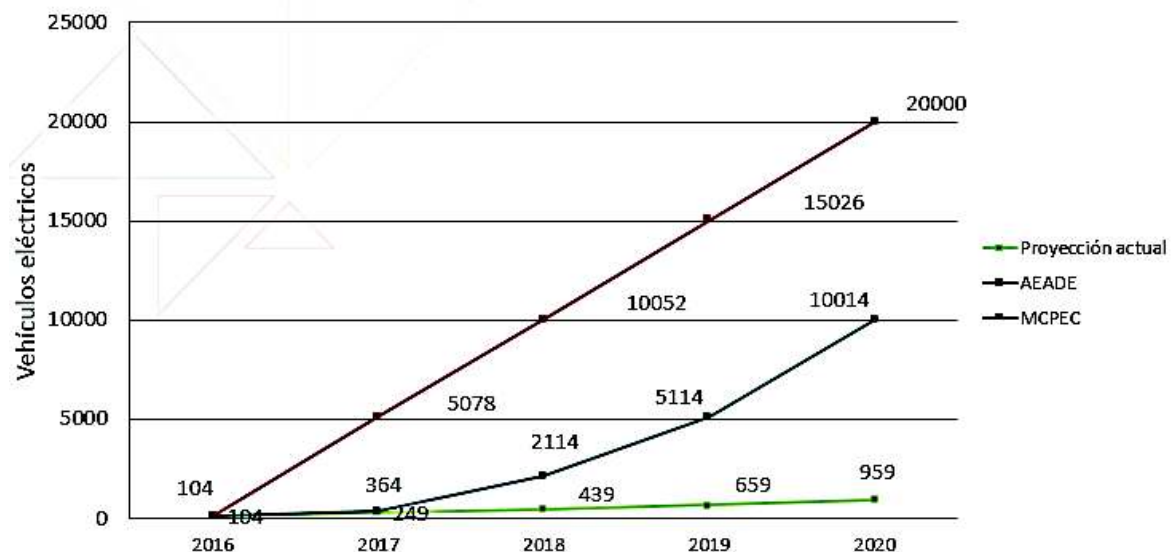


Figura 6. Proyección de crecimiento del parque automotor de VE de Ecuador en el periodo 2016 – 2020.
Fuente: (MEER, 2016)

A nivel mundial se tiene proyectado el comportamiento del crecimiento del parque automotor para las próximas décadas, en específico en el periodo desde el 2010 hasta el 2030. En el Figura 7, se presenta el comportamiento mundial del periodo 2010 al 2016.

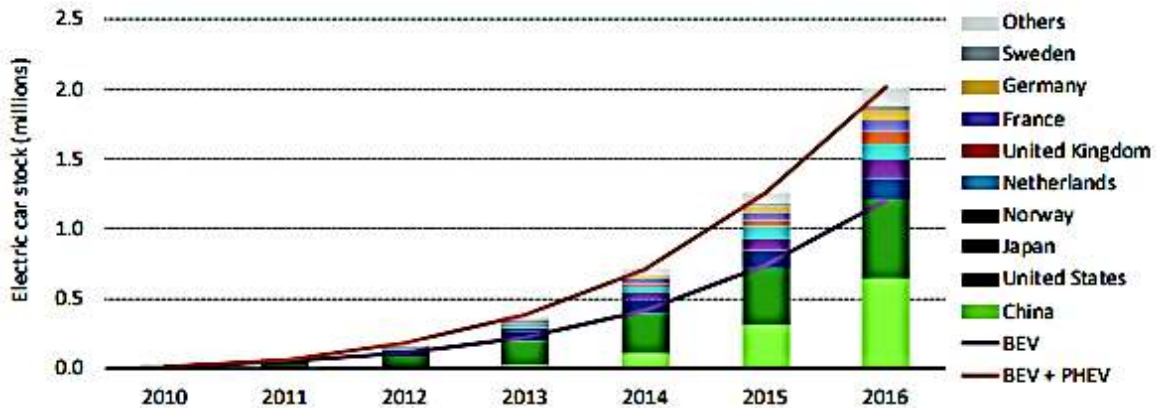


Figura 7. Evolución mundial del parque automotor de VE en el periodo 2010 – 2016.
Fuente: (IEA, 2017)

Para complementar el periodo 2016 al 2030, la Agencia Internacional de Energía (IEA), realizó varios escenarios de proyecciones de crecimiento (IEA, 2017), siendo la base el escenario de la declaración de París (UNFCCC, 2015) y a partir de ella la IEA plantea tres escenarios de crecimiento del parque automotor (RTS, 2DS, B2DS), para detalles ver el Figura 8. El RTS incorpora mejoras tecnológicas en eficiencia energética y opciones modales que apoyan el logro de políticas que se han anunciado o están bajo consideración. El 2DS es consistente con una probabilidad del 50% de limitar el aumento esperado de la temperatura media global a 2 ° C. El B2DS está dentro del rango de ambición del Acuerdo de París, lo que corresponde a un aumento medio de la temperatura global de 1,75 ° C (IEA, 2017).

Para el cálculo del crecimiento en Ecuador, en este trabajo se tomará como base la declaración de París (B2DS) que se encuentra en la media dentro de las previsiones de las compañías productoras de vehículos eléctricos y autopartes, es decir este es el escenario al que apuesta la industria como más probable.

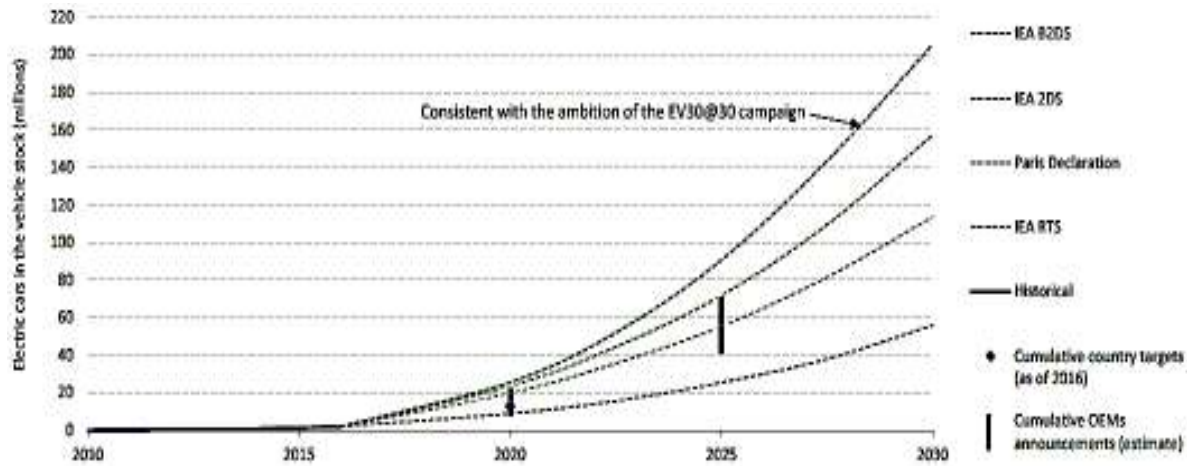


Figura 8. Proyección de la evolución mundial del parque automotor de VE en el periodo 2010 – 2030.
Fuente: (IEA, 2017)

El Figura 9, presenta de manera aislada el escenario de evolución mundial del parque automotor de VE según el escenario B2DS, se caracterizó esta curva y extrapoló hasta el año 2040.

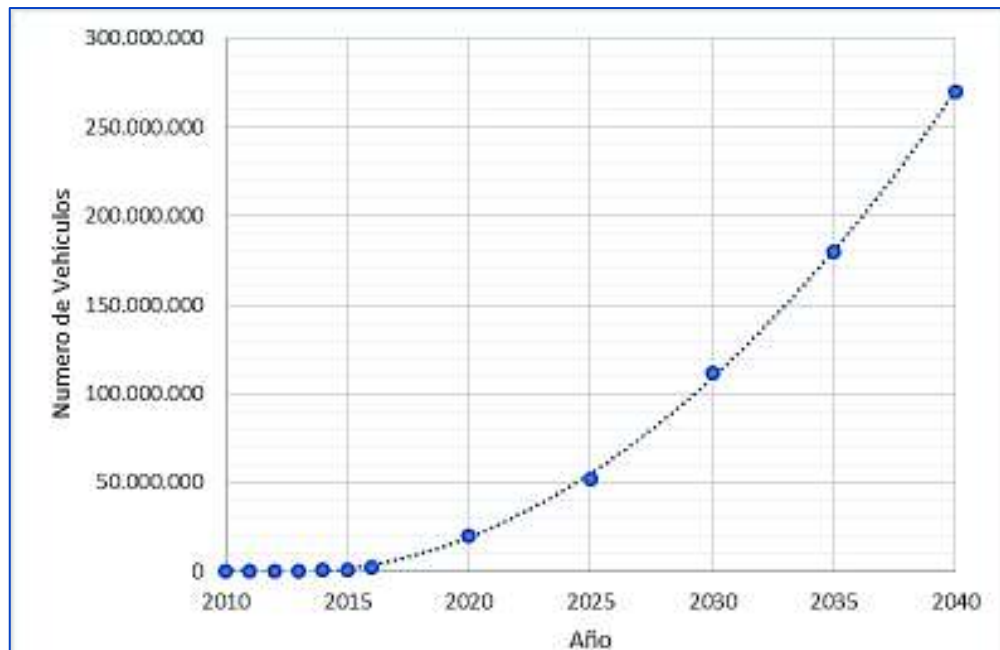


Figura 9. Proyección de la evolución mundial del parque automotor de VE en el periodo 2010 – 2040.
Fuente: (IEA, 2017)

En base a la meta adoptada en Ecuador por el MCPEC de alcanzar 20.000 VE en el año 2020 (MCPEC, 2017), y comparando con las proyecciones mundiales, se tiene que en el 2020 el incremento a 20.000 VE en Ecuador representa el 0,10% del parque de VE en el mundo, de forma tal que si se mantiene esta representación porcentual mundial en Ecuador

hasta el 2040 se obtiene una proyección de crecimiento basada en el escenario B2DS de la IEA y la meta 2020 de Ecuador. Ver tabla 26.

Tabla 26. Comparación de la proyección de crecimiento del parque automotor de VE en Ecuador con respecto a la proyección mundial según la declaración de París.

Año	VE - Ecuador	VE - París *	% VE en Ecuador
2020	20.000	20.000.000	0,10%
2025	52.000	52.000.000	0,10%
2030	112.000	112.000.000	0,10%
2035	180.000	180.000.000	0,10%
2040	270.000	270.000.000	0,10%

Fuente: (IEA, 2017)

De allí se define la curva proyectada de crecimiento del parque de VE de Ecuador durante el periodo 2015 al 2040, la cual servirá como base para la definición de los escenarios de estudio de la presente investigación.

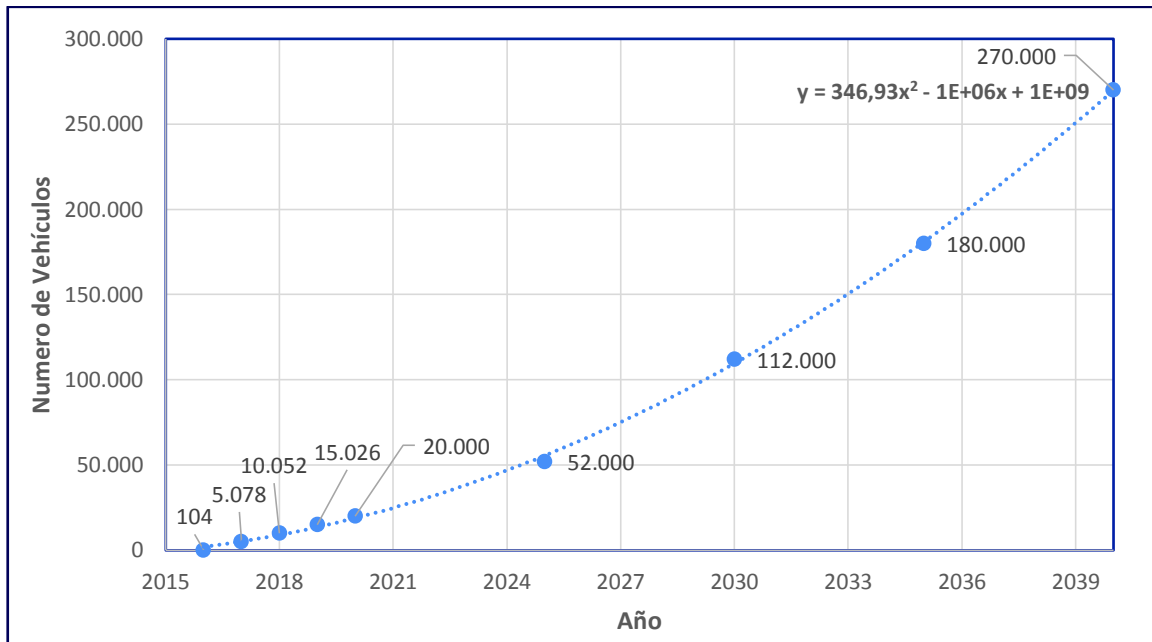


Figura 10. Proyección de la evolución del parque automotor de VE en Ecuador en el periodo 2015 – 2040.

Fuente: (IEA, 2017)

2.3.3. Escenario transporte eléctrico (TRA).

2.3.3.1. Corto plazo (Proyección al 2020)

- Sustitución de 18.000 (1,47% del año base) automóviles livianos particulares, de combustión interna (gasolinas) en condiciones de

obsolescencia por vehículos eléctricos.

- Sustitución de 2.000 (3,12% del año base) automóviles livianos de alquiler (taxis), de combustión interna (gasolinas) en condiciones de obsolescencia por vehículos eléctricos.

2.3.3.2. Mediano plazo (Proyección al 2030)

- Sustitución de 100.800 (8,23% del año base) automóviles livianos particulares de alquiler, de combustión interna (gasolinas), en condiciones de obsolescencia por vehículos eléctricos.
- Sustitución de 11.200 (17,40% del año base) automóviles livianos de alquiler (taxis), de combustión interna (gasolinas) en condiciones de obsolescencia por vehículos eléctricos.

2.3.3.3. Largo plazo (Proyección al 2040)

- Sustitución de 243.000 (19,84% del año base) automóviles livianos particulares alquiler, de combustión interna (gasolinas) en condiciones de obsolescencia por vehículos eléctricos.
- Sustitución de 27.000 (41,95% del año base) automóviles livianos de alquiler (taxis), de combustión interna (gasolinas) en condiciones de obsolescencia por vehículos eléctricos.

2.3.4. Bio-gasolinas (BIO)

2.3.4.1. Corto plazo (Proyección al 2020)

- Aumento de la producción de biocombustible (gasolina ecopaís®) para mejorar la oferta del 3% del mismo a nivel nacional a un 20% (en referencia al año base).

2.3.4.2. Mediano plazo (Proyección al 2030)

- Mejora de la gasolina ecopaís® de una composición de 5% de bioetanol a 10% de la mezcla.
- Aumento de la producción de biocombustible (gasolina ecopaís® - mejorada 10%) para mejorar la oferta del 20% a nivel nacional a un 60% (en referencia

al año base).

2.3.4.3. Largo plazo (Proyección al 2040)

- Aumento de la producción de biocombustible (gasolina ecopaís® - mejorada 10%) para mejorar la oferta del 60% a nivel nacional a un 90% (en referencia al año base).

2.3.5. Biodiesel (DIE)

2.3.5.1. Corto plazo (Proyección al 2020)

- Introducción de combustible biodiesel, con una composición de 5% de biodiesel, ofertando en un 20% de las estaciones de servicio del país.

2.3.5.2. Mediano plazo (Proyección al 2030)

- Aumento de la producción de biocombustible (biodiesel mejorado al 10%) para llevar la oferta del 20% a nivel nacional a un 60% (en referencia al año base).

2.3.5.3. Largo plazo (Proyección al 2040)

- Aumento de la producción de biocombustible (biodiesel Mejorado al 10%) para llevar la oferta del 60% a nivel nacional a un 90% (En referencia al año base).

2.3.6. Compuesto (COM)

Es la evaluación de la mezcla de todos los escenarios (TRA, BIO, DIE), que ya fueron presentados anteriormente y como trabajan todos a la vez.

3. RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentará el grupo de resultados obtenidos del análisis de simulación prospectiva realizado. Los mismos han sido estructurados en un escenario base, que es la proyección del comportamiento de la matriz del año base sin introducir ninguna variante o modificación. En segundo lugar, se presenta el escenario #1 que es el caso de sustitución parcial del parque automotor por vehículos eléctrico. El tercer caso es el escenario #2 de sustitución parcial de gasolinas convencionales por biogasolinas. En cuarto lugar, se presenta el escenario #3 de sustitución parcial de diésel convencional por biodiesel. En quinto se presenta el escenario #4 que es la combinación de escenarios 1 + 2 + 3. Posteriormente se presenta el balance energético de la matriz al año base (2014) y se contrasta con el balance del año 2040 bajo el escenario #4 (combinación). Finalmente se cierra con una evaluación de la generación de GEI, bajo el escenario base (sin ninguna modificación de la matriz actual) en 2040 y se compara con los GEI que se generan en el escenario #4, en el mismo periodo de tiempo.

3.1. Escenario base

En este punto se presentarán los resultados de la proyección de la matriz del año 2014, la cual fue tomada como base del estudio, lo que se pretende es dejar bien definido cuál sería el comportamiento de la matriz energética del sector transporte en el periodo 2014- 2040 en caso de que no se realice cambios a la matriz actual, tomando en cuenta el aumento demográfico y el crecimiento del PIB considerados. El crecimiento del PIB se relaciona al aumento del poder adquisitivo, que resulta en mejora de la calidad de vida de la población y por ende en aumento del poder adquisitivo que permite el acceso a la tecnología. En consecuencia, se incrementa el número de vehículos anualmente.

Los resultados serán presentados en cuatro periodos, el primero en el año base (2014), según la información del balance energético nacional (BEN) de ese año, (MICSE, 2015), como puede observarse en el anexo B – Definición del modelo.

El segundo en la meta a corto plazo (2020), el tercero en la meta a mediano plazo (2030) y finalmente la meta a Largo plazo (2040), ver Tabla 27.

Tabla 27. Demanda energética (por sectores) de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)

Sectores	2014	2020	2030	2040
Transporte	42,0	66,3	122,7	199,0
Industrial	19,0	20,5	23,2	26,2
Residencial	11,9	12,9	14,6	16,6
Comercial	6,0	6,5	7,3	8,3
Agro pesca minería	1,0	1,1	1,3	1,5
Otros Sectores	16,3	17,6	19,9	22,5
Consumo Propio	5,0	5,4	6,1	6,9
Total	101,3	130,1	195,0	281,0

En la Figura 11 se ilustra la demanda energética (por sectores) de Ecuador durante periodo 2014 -2040.

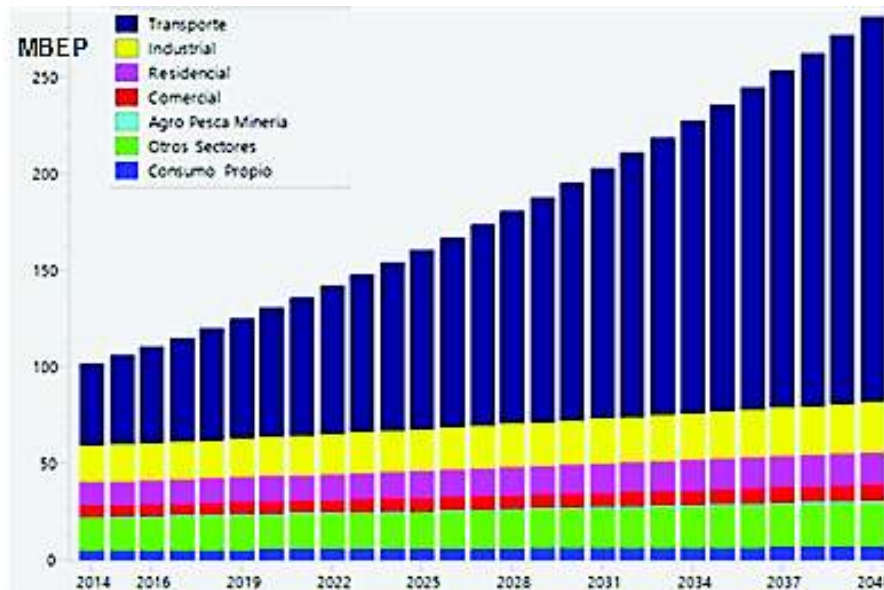


Figura 11. Demanda energética (por sectores) de Ecuador periodo 2014 -2040
Fuente: El autor

El aspecto más relevante de la Figura 11, es el aumento del total de energía demandada, aumenta de 101 MBEP en el año base a 281 MBEP en el año 2040. Esto se debe al incremento de la demanda energética del sector transporte, debido al crecimiento del parque automotor, situación descrita en el acápite 2.2.2.

Se analizará en la Tabla 28 la demanda energética, sector transporte de Ecuador del periodo 2014 -2040, es importante señalar que dicho sector está sub-dividido en dos grandes grupos, el primero de vehículos livianos, el segundo de vehículos de carga.

Tabla 28. Demanda energética, sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)

Año	2014	2020	2030	2040
Livianos	15,8	26,4	51,0	84,4
Carga	26,2	39,9	71,6	114,6
Total	42,00	66,3	122,6	199,0

De la Figura 12, resalta que el total de energía demandada aumenta de 42,1 MBEP en el año base a 199 MBEP en el año 2040, siendo superior la demanda del sector de transporte de carga.

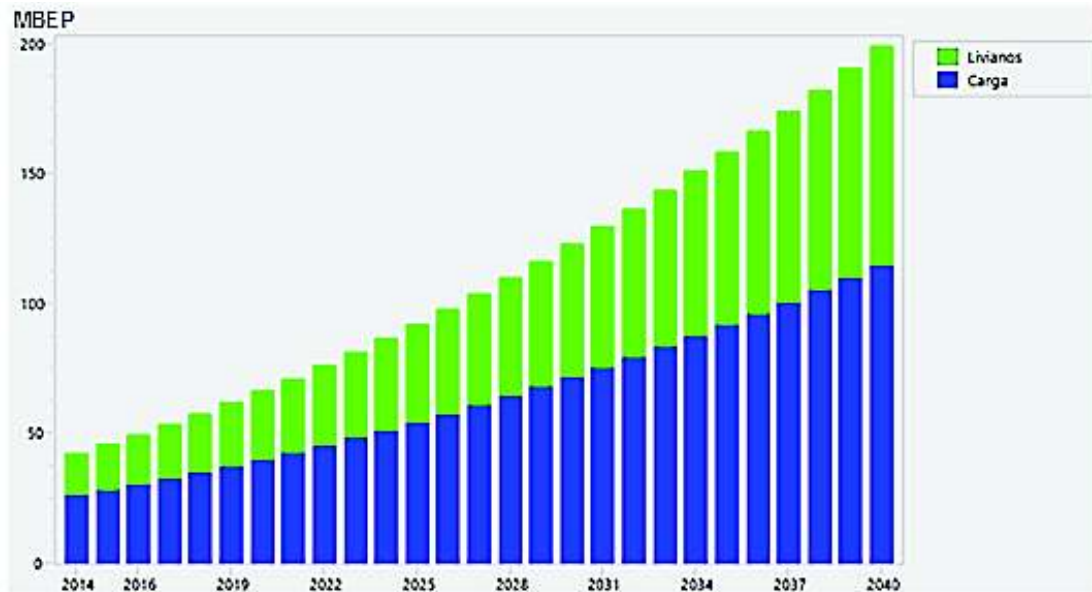


Figura 12. Demanda energética (por grupos) de Ecuador periodo 2014 -2040
Fuente: El autor

A continuación se presenta el desglose del sector transporte según la función que desempeña en la sociedad cada uno de los dos grupos (livianos y carga) del sector transporte, que se subdividen en seis subsectores que son: particular, alquiler, estado, municipal, gobiernos seccionales y otros (INEC, 2015).

3.1.1. Desglose sector transporte – grupo/uso

En la Tabla 29 y en la Figura 13 se presenta el desglose del sector transporte.

Tabla 29. Desglose de demanda energética, sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)

Año	2014	2020	2030	2040
Livianos	15,8	26,4	51,0	84,4
Particular	14,4	24,0	46,3	76,6
Alquiler	1,2	2,0	3,8	6,2
Estado	0,2	0,4	0,7	1,2
Municipal	0,1	0,1	0,2	0,3
Gobiernos seccionales	0,0	0,0	0,0	0,0
otros	0,0	0,0	0,0	0,0
Carga	26,2	39,9	71,6	114,6
Particular	17,4	29,1	56,2	93,0
Alquiler	2,2	3,7	7,1	11,7
Estado	0,5	0,8	1,6	2,7
Municipal	0,2	0,4	0,7	1,1
Gobiernos seccionales	0,0	0,1	0,1	0,2
otros	5,9	5,9	5,9	5,9
Total	42,00	66,30	122,60	199,00

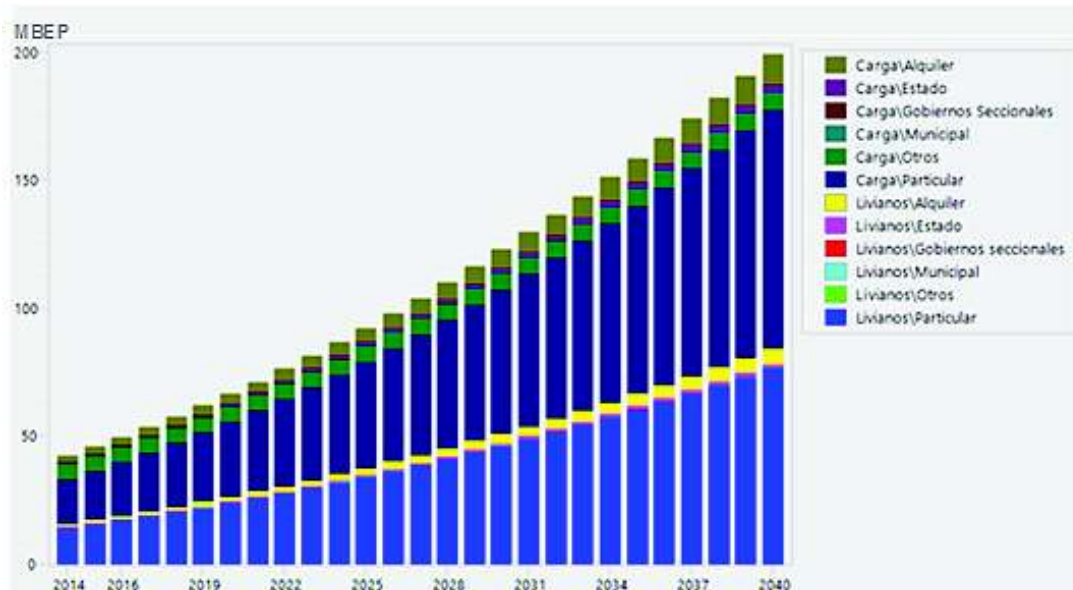


Figura 13. Demanda energética por grupos y desglose de uso, periodo 2014 -2040

3.1.2. Desglose Sector Transporte – Grupo/Usa/Tipo

3.1.2.1. Vehículos livianos – grupo/uso/tipo

En la Tabla 30 y Figura 14, se presentan los resultados obtenidos de la demanda energética para vehículos livianos desglosados por grupo/uso/tipo.

Tabla 30. Desglose de demanda energética del grupo livianos, por tipo de vehículo - sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)

	2014	2020	2030	2040
Livianos	15,823	26,406	51,036	84,407
Particular	14,368	23,976	46,339	76,638
Automóvil	5,736	9,572	18,499	30,595
Autobús	0,133	0,223	0,430	0,712
Furgoneta P	0,648	1,081	2,090	3,456
Jeep	3,267	5,452	10,537	17,427
Motocicleta	4,444	7,415	14,330	23,700
Otra clase	0,140	0,234	0,452	0,748
Alquiler	1,171	1,954	3,778	6,249
Automóvil	0,273	0,455	0,879	1,454
Autobús	0,864	1,443	2,789	4,614
Furgoneta P	0,003	0,006	0,011	0,018
Jeep	0,000	0,000	0,001	0,001
Motocicleta	0,010	0,017	0,034	0,056
Otra clase	0,020	0,033	0,064	0,106
Estado	0,231	0,386	0,746	1,233
Automóvil	0,007	0,011	0,021	0,035
Autobús	0,068	0,114	0,219	0,363
Furgoneta P	0,002	0,004	0,007	0,012
Jeep	0,057	0,095	0,184	0,304
Motocicleta	0,055	0,091	0,176	0,291
Otra clase	0,043	0,071	0,138	0,228
Municipal	0,050	0,084	0,162	0,268
Automóvil	0,000	0,000	0,001	0,001
Autobús	0,006	0,011	0,021	0,034
Furgoneta P	0,000	0,000	0,000	0,000
Jeep	0,007	0,012	0,024	0,040
Motocicleta	0,014	0,023	0,044	0,073
Otra clase	0,022	0,037	0,072	0,119
Gobiernos seccionales	0,003	0,005	0,010	0,017
Automóvil	0,000	0,000	0,000	0,000
Autobús	0,001	0,002	0,003	0,006
Furgoneta P	0,000	0,000	0,000	0,000
Jeep	0,001	0,001	0,003	0,005
Motocicleta	0,001	0,001	0,002	0,004
Otra clase	0,001	0,001	0,002	0,003
Otros	0,000	0,001	0,001	0,002
Automóvil	0,000	0,000	0,001	0,001
Autobús	0,000	0,000	0,000	0,001
Furgoneta P	0,000	0,000	0,000	0,000
Jeep	0,000	0,000	0,000	0,000

Motocicleta	0,000	0,000	0,000	0,000
Otra clase	-	-	-	-
Total	15,823	26,406	51,036	84,407

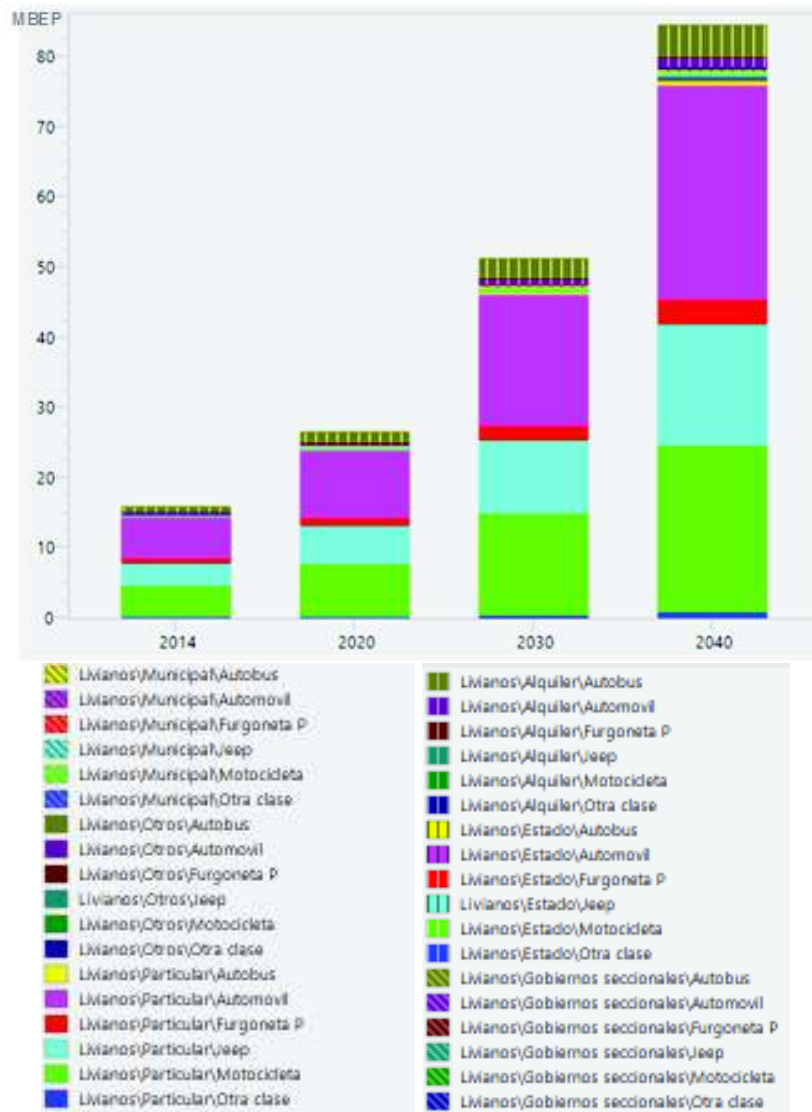


Figura 14. Desglose de demanda energética del grupo llanos, por grupo/uso/tipo de vehículo - sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.2.2. Vehículos carga – grupo/uso/tipo

A continuación, en la Tabla 31 y Figura 15, se presentan los resultados obtenidos de la demanda energética para vehículos de carga desglosados por grupo/uso/tipo.

Tabla 31. Desglose de demanda energética del grupo carga, por grupo/uso/tipo - sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)

	2014	2020	2030	2040
Carga	26,246	39,881	71,615	114,612
Particular	17,418	29,079	56,219	92,991
Camión	5,93	9,9	19,142	31,664
Camioneta	9,056	15,117	29,225	48,339
Furgoneta C	1,345	2,246	4,342	7,182
Tanquero	0,132	0,221	0,428	0,707
Tráiler	0,283	0,473	0,915	1,514
Volqueta	0,531	0,887	1,715	2,836
Otra clase	0,14	0,234	0,452	0,748
Alquiler	2,193	3,661	7,079	11,709
Camión	1,161	1,939	3,749	6,202
Camioneta	0,163	0,272	0,525	0,869
Furgoneta C	0,166	0,278	0,537	0,888
Tanquero	0,066	0,11	0,212	0,35
Tráiler	0,365	0,609	1,178	1,949
Volqueta	0,252	0,421	0,814	1,346
Otra clase	0,02	0,033	0,064	0,106
Estado	0,504	0,841	1,626	2,69
Camión	0,088	0,146	0,283	0,468
Camioneta	0,277	0,462	0,893	1,477
Furgoneta C	0,018	0,03	0,059	0,097
Tanquero	0,017	0,028	0,055	0,091
Tráiler	0,007	0,012	0,023	0,039
Volqueta	0,054	0,091	0,176	0,291
Otra clase	0,043	0,071	0,137	0,227
Municipal	0,212	0,355	0,685	1,134
Camión	0,043	0,072	0,139	0,229
Camioneta	0,052	0,087	0,169	0,279
Furgoneta C	0,002	0,004	0,008	0,013
Tanquero	0,012	0,021	0,04	0,066
Tráiler	0,004	0,007	0,014	0,023
Volqueta	0,076	0,126	0,244	0,404
Otra clase	0,022	0,037	0,072	0,119
Gobiernos Seccionales	0,038	0,064	0,123	0,203
Camión	0,004	0,007	0,014	0,023
Camioneta	0,007	0,012	0,023	0,039
Furgoneta C	0	0,001	0,001	0,002
Tanquero	0,004	0,006	0,012	0,02
Tráiler	0,001	0,002	0,003	0,006
Volqueta	0,021	0,035	0,067	0,111
Otra clase	0,001	0,001	0,002	0,003

Otros	5,881	5,881	5,883	5,885
Camión	0	0	0,001	0,001
Camioneta	0	0,001	0,001	0,002
Furgoneta C	0	0	0	0
Tanquero	0	0	0	0
Tráiler	-	-	-	-
Volqueta	-	-	-	-
Otra clase	5,88	5,88	5,88	5,88
Total	26,246	39,881	71,615	114,612

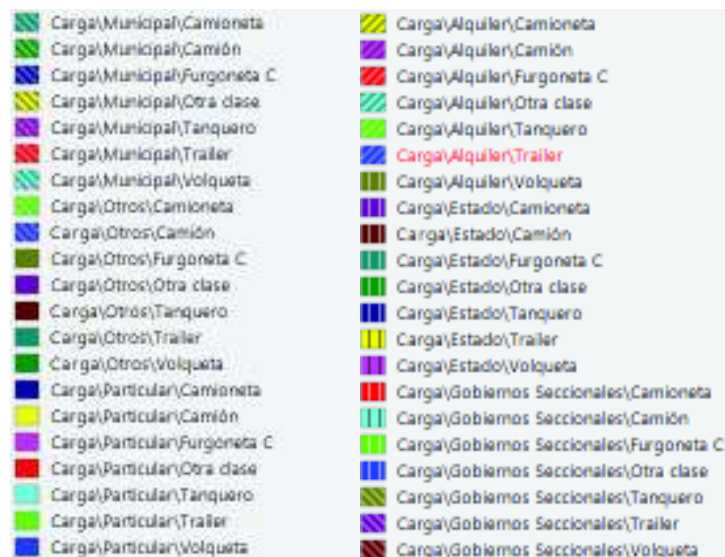
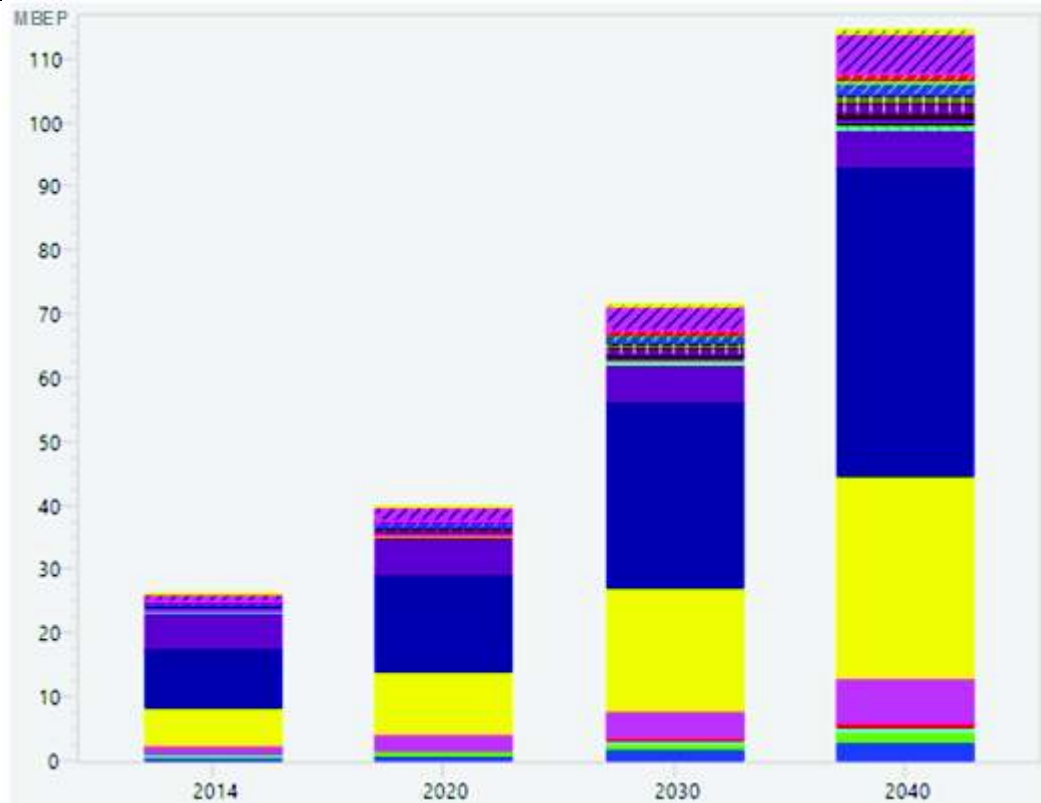


Figura 15. Desglose de demanda energética del grupo Carga, por grupo/uso/tipo de vehículo - sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.3. Desglose sector transporte – grupo/uso/tipo/combustible

3.1.3.1. Vehículos livianos – grupo/uso/tipo/combustible

En el Figura 16, se muestran los resultados obtenidos de la demanda energética para vehículos livianos desglosados por grupo/uso/tipo/combustible.

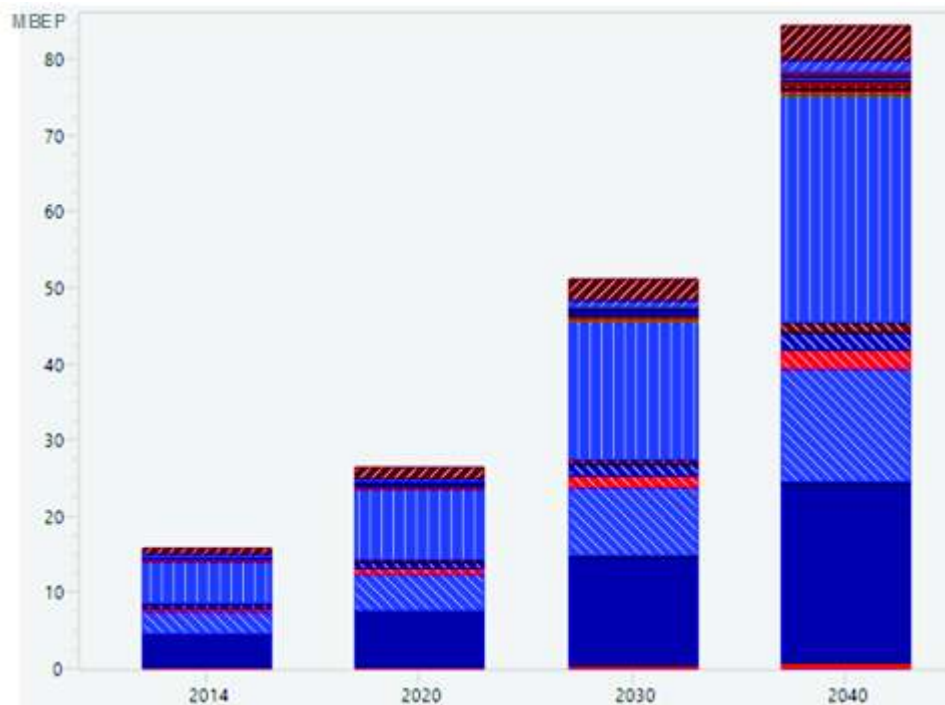


Figura 16. Desglose de demanda energética del grupo livianos, por grupo/uso/tipo de vehículo/combustible - sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.3.2. Vehículos carga – grupo/uso/tipo/combustible

Se presentan en la Figura 17 los resultados obtenidos de la demanda energética para vehículos de carga desglosados por grupo/uso/tipo/combustible.

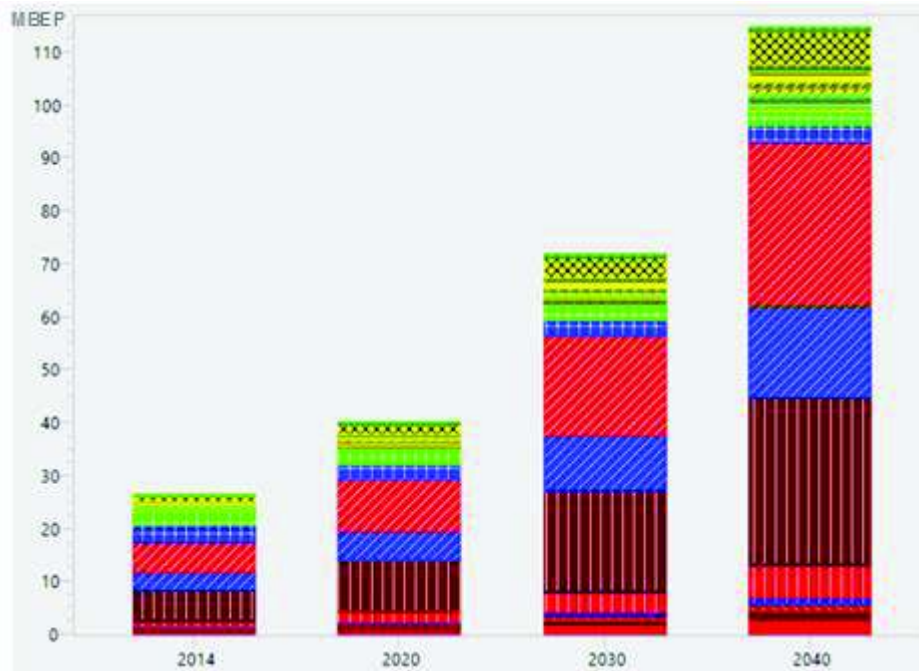


Figura 17. Desglose de demanda energética del grupo Carga, por grupo/uso/tipo de vehículo/combustible - sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.4. Desglose sector transporte – demanda energética de combustibles secundarios

Se realiza el desglose del sector transporte, según la demanda energética de combustibles.

3.1.4.1. Vehículos livianos – combustibles secundarios

En la Tabla 32 y Figura 18 se muestra el desglose para el sector transporte – vehículos livianos de la demanda energética para el período 2014 -2040.

Tabla 32. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,00	0,01	0,01	0,02
Gasolina	13,62	22,74	43,97	72,73
Diésel	2,11	3,53	6,82	11,28
LPG	0,07	0,11	0,21	0,35
Biomasa	0,02	0,02	0,02	0,02
Total	15,82	26,41	51,04	84,41

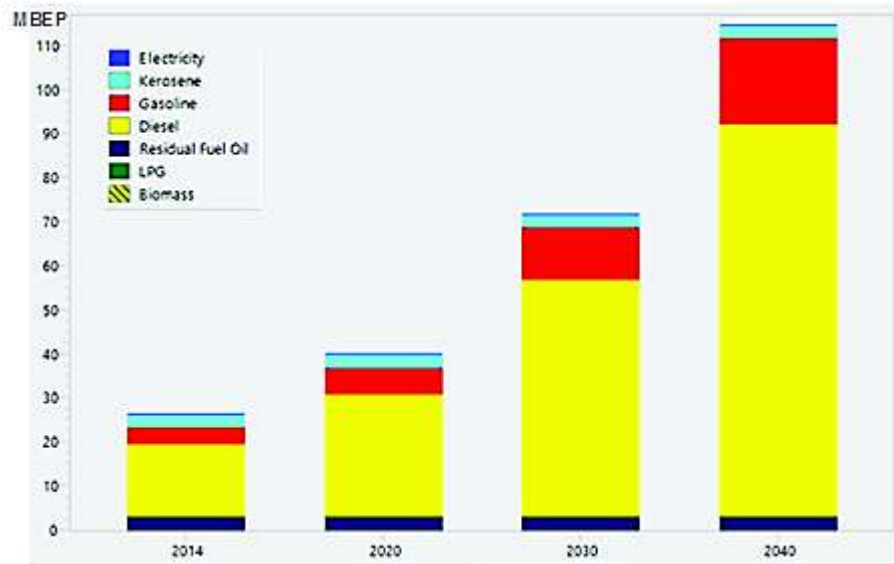


Figura 18. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.4.1.1 Vehículos livianos/particulares – combustibles secundarios

En la Tabla 33 y Figura 19, se indica la demanda energética de combustibles secundarios, para el sector transporte – vehículos livianos / particulares para el periodo 2014 – 2040.

Tabla 33. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/particulares de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,00	0,01	0,01	0,02
Gasolina	13,21	22,05	42,63	70,52
Diésel	1,07	1,79	3,47	5,74
GLP	0,06	0,11	0,20	0,34
Biomasa	0,02	0,02	0,02	0,02
Total	14,37	23,98	46,34	76,64

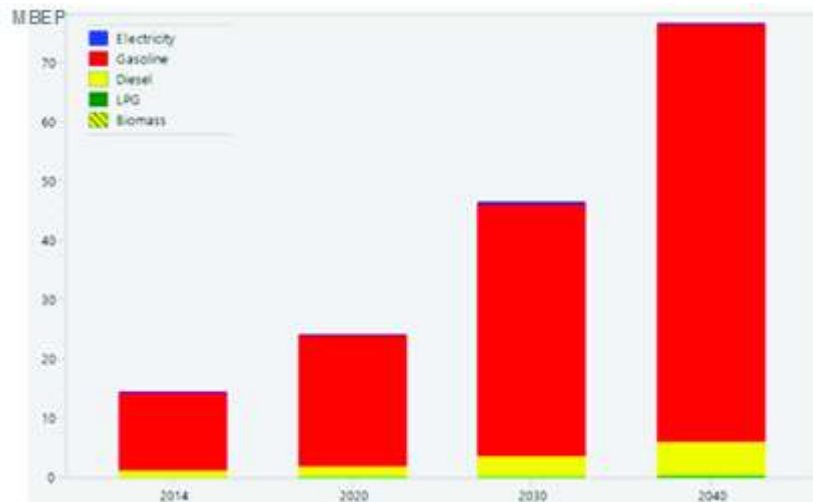


Figura 19. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/particulares de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.4.1.2 Vehículos livianos/alquiler – combustibles secundarios

En la Tabla 34 y Figura 20, se indica la demanda energética de combustibles secundarios, para el sector transporte – vehículos livianos / alquiler para el periodo 2014 – 2040.

Tabla 34. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/alquiler de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,16	0,26	0,51	0,84
Gasolina	280,27	467,95	904,77	1.496,62
Diésel	888,04	1.482,72	2.866,84	4.742,17
GLP	1,65	2,75	5,33	8,81
Biomasa	0,42	0,42	0,42	0,42
Total	1.170,53	1.954,11	3.777,86	6.248,86

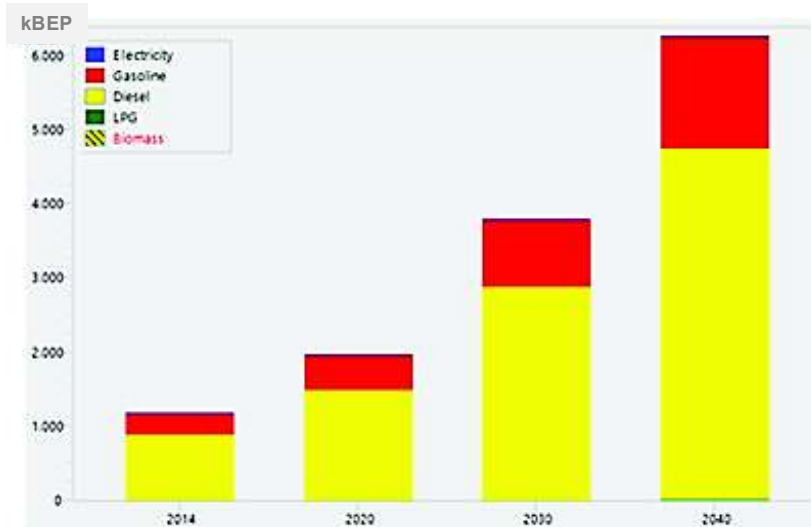


Figura 20. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/alquiler de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.4.1.3 Vehículos Livianos/Estado – combustibles secundarios

Se presentan en la Tabla 35 y la Figura 21, los resultados obtenidos de la demanda energética de combustibles secundarios, para el sector transporte de vehículos livianos del estado, en el periodo 2014 – 2040.

Tabla 35. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos Livianos/Estado de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,05	0,09	0,17	0,28
Gasolina	111,52	186,19	360,00	595,49
Diésel	118,85	198,45	383,69	634,69
GLP	0,48	0,80	1,56	2,57
Biomasa	0,17	0,17	0,17	0,17
Total	231,07	385,70	745,58	1.233,20

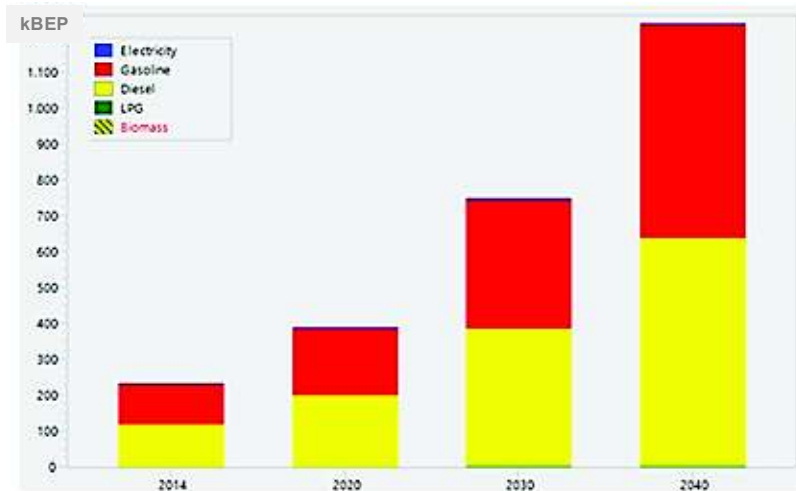


Figura 21. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/estado de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.4.1.4 Vehículos livianos/municipal – combustibles secundarios

En la Tabla 36 y la Figura 22, se muestran los resultados obtenidos de la demanda energética de combustibles secundarios, para el sector transporte de vehículos livianos / municipal, en el periodo 2014 – 2040.

Tabla 36. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/municipal de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,00	0,01	0,02	0,03
Gasolina	20,59	34,37	66,46	109,94
Diésel	29,45	49,17	95,07	157,26
GLP	0,08	0,14	0,27	0,44
Biomasa	0,03	0,03	0,03	0,03
Total	50,16	83,72	161,85	267,70

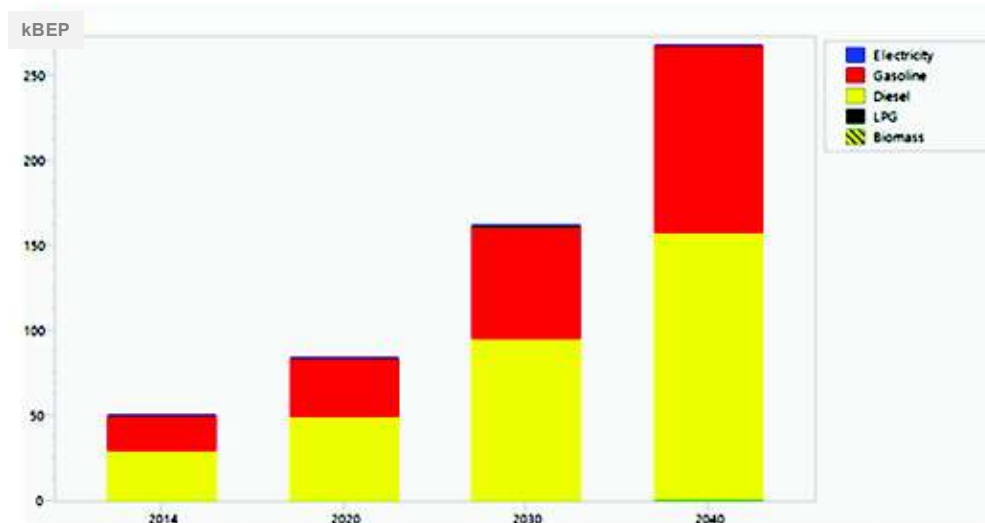


Figura 22. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/Municipal de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.4.1.5 Vehículos livianos/gobiernos seccionales – combustibles secundarios

Se presentan en la Tabla 37 y la Figura 23, los resultados obtenidos de la demanda energética de combustibles secundarios, por el sector transporte de vehículos livianos de los gobiernos seccionales para el periodo 2014 – 2040.

Tabla 37. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/gob. seccionales de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,00	0,00	0,00	0,00
Gasolina	1,47	2,46	4,75	7,86
Diésel	1,76	2,93	5,67	9,39
GLP	0,01	0,01	0,02	0,03
Biomasa	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	3,24	5,40	10,45	17,28

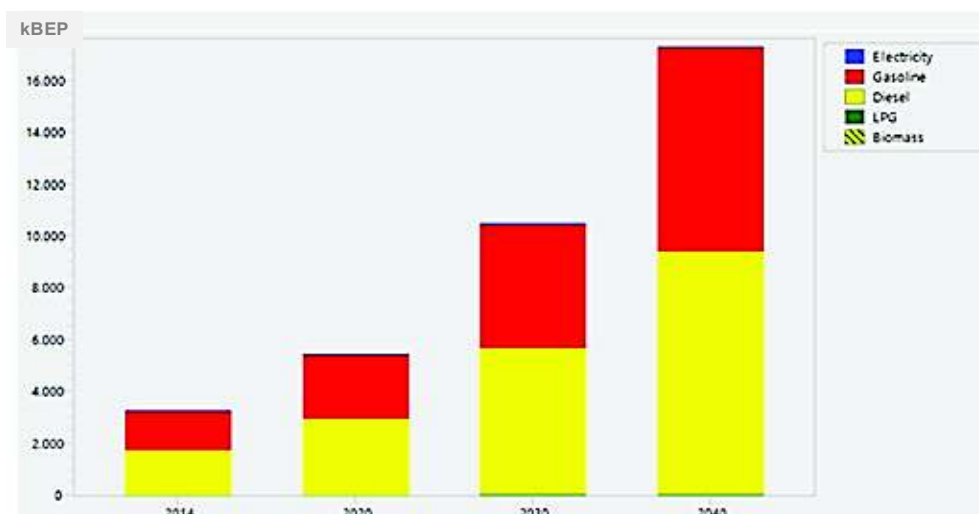


Figura 23. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/Gob. Seccionales de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.4.1.6 Vehículos livianos/otros – combustibles secundarios

Se presentan en la Tabla 38 y la Figura 24, la demanda energética de combustibles secundarios, del sector transporte de vehículos livianos denominado “otros”, para el periodo 2014 – 2040.

Tabla 38. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/otros de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,00	0,00	0,00	0,00
Gasolina	0,33	0,55	1,06	1,76
Diésel	0,12	0,21	0,40	0,66
GLP	0,00	0,00	0,01	0,01
Biomasa	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	0,46	0,76	1,47	2,43

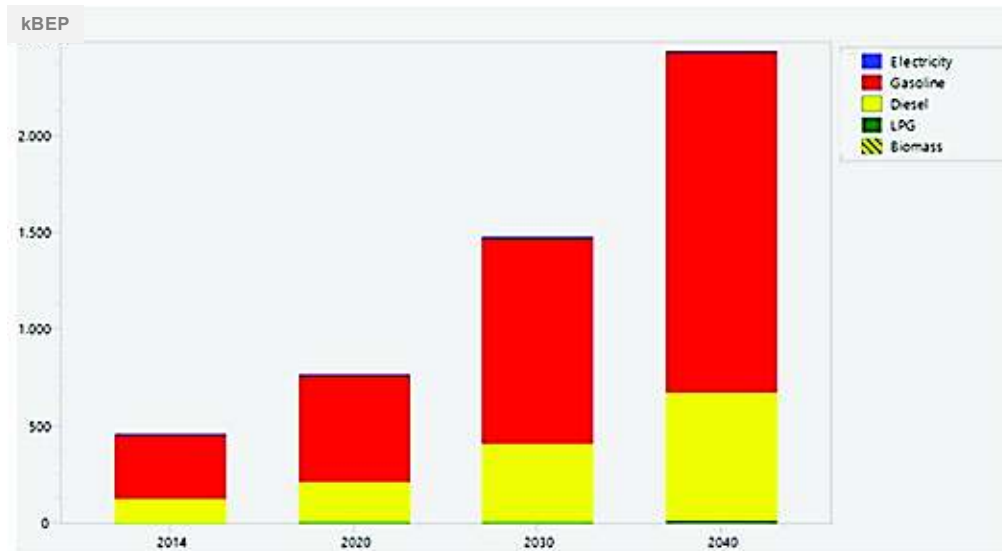


Figura 24. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos livianos/Otros de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.4.2. Vehículos de carga – combustibles secundarios

Se indica en la Tabla 39, la demanda energética de combustibles secundarios, del sector transporte de vehículos de carga, para el periodo 2014 – 2040.

Tabla 39. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos de carga de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)

	2014	2020	2030	2040
Particular	17,42	29,08	56,22	92,99
Alquiler	2,19	3,66	7,08	11,71
Estado	0,50	0,84	1,63	2,69
Municipal	0,21	0,35	0,69	1,13
Gobiernos seccionales	0,04	0,06	0,12	0,20
otros	5,88	5,88	5,88	5,88
Total	26,25	39,88	71,61	114,61

3.1.4.2.1 Vehículos carga/particular – combustibles secundarios

En la Tabla 40 y Figura 25, se muestra la demanda energética de combustibles secundarios del sector transporte de vehículos de carga particular, para el periodo 2014 – 2040.

Tabla 40. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/particular de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,00	0,00	0,00	0,00
Gasolina	3,43	5,72	11,07	18,31
Diésel	13,97	23,32	45,09	74,58
GLP	0,02	0,03	0,06	0,09
Biomasa	0,01	0,01	0,01	0,01
Total	17,42	29,08	56,22	92,99

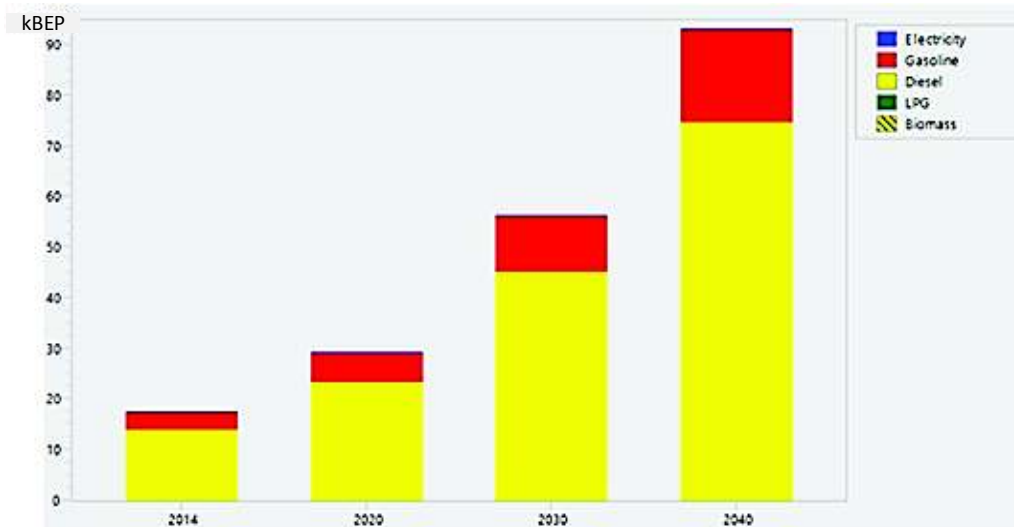


Figura 25. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/particular de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.4.2.2 Vehículos carga/alquiler – combustibles secundarios

En la Tabla 41 y la Figura 26, se muestra la demanda energética de combustibles secundarios, del sector transporte de vehículos de carga/alquiler, para el periodo 2014 – 2040.

Tabla 41. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/alquiler de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,00	0,00	0,00	0,00
Gasolina	0,09	0,15	0,29	0,48
Diésel	2,10	3,51	6,79	11,23
GLP	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomasa	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	2,19	3,66	7,08	11,71

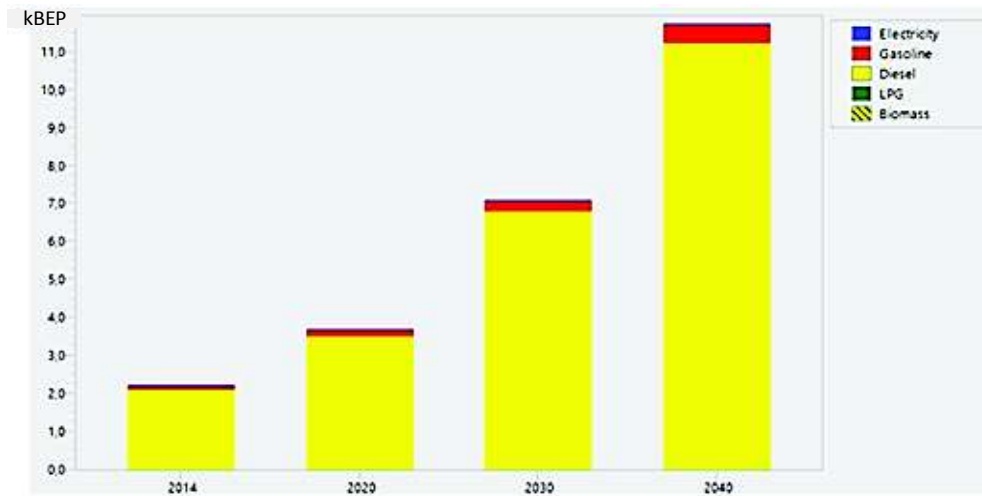


Figura 26. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/alquiler de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.4.2.3 Vehículos carga/estado – combustibles secundarios

En la Tabla 42 y la Figura 27, se indica la demanda energética de combustibles secundarios, del sector transporte de vehículos de carga del estado, para el periodo 2014 – 2040.

Tabla 42. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/estado de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,02	0,04	0,07	0,11
Gasolina	101,96	170,23	329,15	544,46
Diésel	401,29	670,02	1.295,47	2.142,91
GLP	0,51	0,85	1,65	2,73
Biomasa	0,15	0,15	0,15	0,15
Total	503,93	841,29	1.626,49	2.690,36

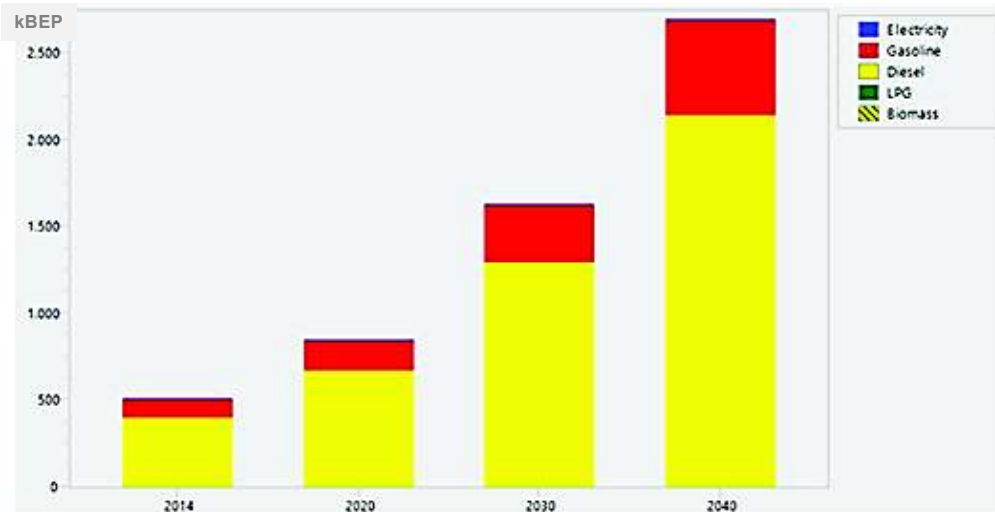


Figura 27. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/estado de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.4.2.4 Vehículos carga/municipal – combustibles secundarios

En la Tabla 43 y la Figura 28, se indica la demanda energética de combustibles secundarios, del sector transporte de vehículos de carga municipales, para el periodo 2014 – 2040.

Tabla 43. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/municipal de Ecuador periodo 2014 -2040(kBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,01	0,01	0,02	0,03
Gasolina	19,86	33,16	64,11	106,05
Diésel	192,36	321,17	620,97	1.027,18
GLP	0,11	0,18	0,35	0,59
Biomasa	0,03	0,03	0,03	0,03
Total	212,36	354,55	685,49	1.133,88

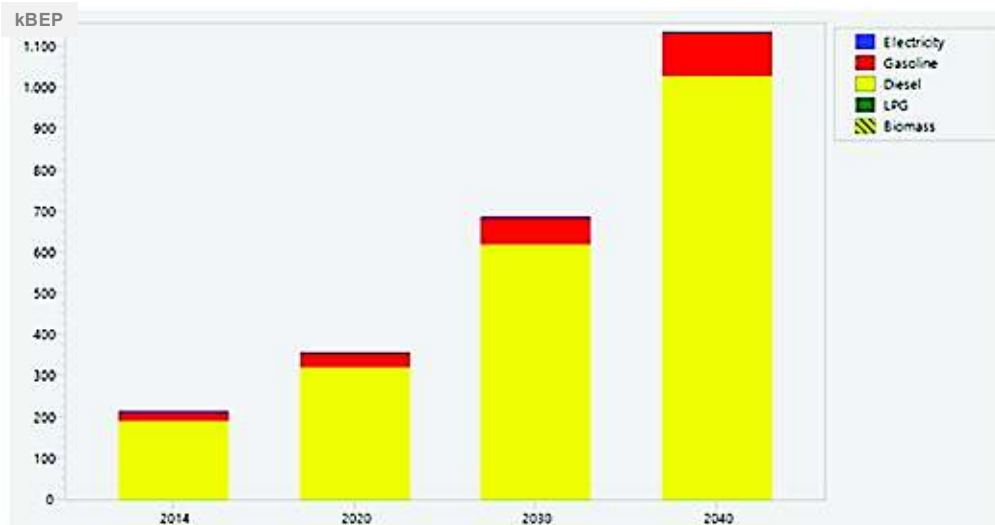


Figura 28. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/municipal de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.4.2.5 Vehículos carga/gobiernos seccionales – combustibles secundarios

En la Tabla 44 y la Figura 29 se indica la demanda energética de combustibles secundarios, del sector transporte de vehículos de carga de los gobiernos seccionales, para el periodo 2014 – 2040.

Tabla 44. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/gob. seccionales de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,00	0,00	0,00	0,00
Gasolina	2,75	4,59	8,88	14,70
Diésel	35,27	58,90	113,88	188,37
GLP	0,00	0,00	0,01	0,01
Biomasa	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	38,03	63,50	122,77	203,08

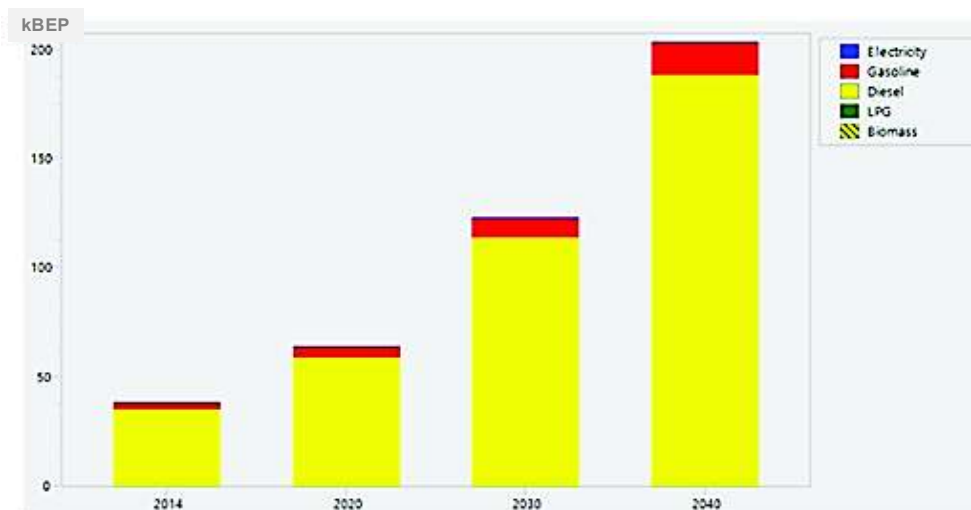


Figura 29. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/gob. seccionales de Ecuador periodo 2014 -2040

3.1.4.2.6 Vehículos carga/otros – combustibles secundarios

En la Tabla 45 y la Figura 30 se indica la demanda energética de combustibles secundarios, del sector transporte de vehículos de carga denominados “otros”, para el periodo 2014 – 2040.

Tabla 45. Demanda energética de combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/otros de Ecuador periodo 2014 -2040 (kBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,00	0,00	0,00	0,00
Queroseno	2.940,00	2.940,00	2.940,00	2.940,00
Gasolina	0,14	0,23	0,45	0,74
Diésel	0,72	1,21	2,33	3,86
Fuel oil residual	2.940,00	2.940,00	2.940,00	2.940,00
GLP	0,00	0,00	0,00	0,00
Biomasa	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	5.880,86	5.881,44	5.882,78	5.884,60

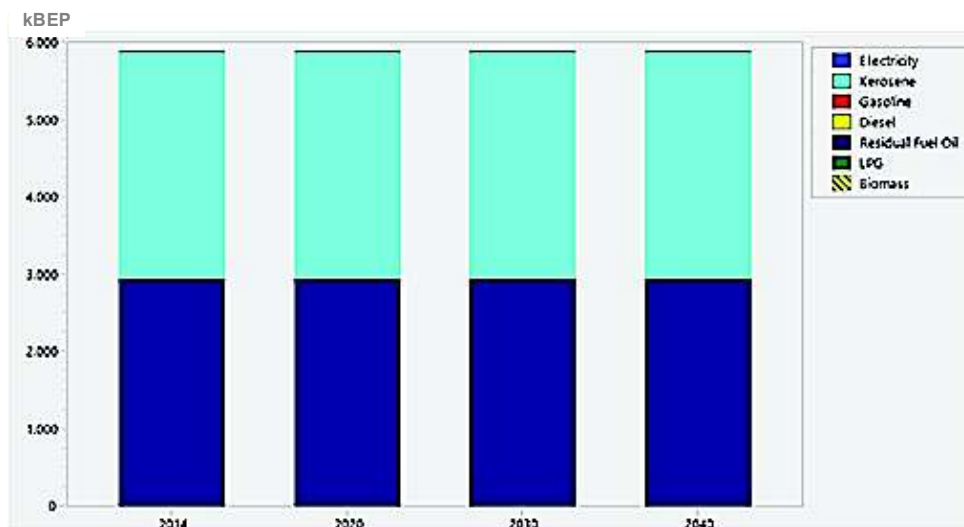


Figura 30. Demanda energética combustibles secundarios - sector transporte – vehículos carga/otros de Ecuador periodo 2014 -2040

3.2. Escenario #1 - sustitución parcial por vehículos eléctricos

En el escenario #1 se plantea la introducción de vehículos eléctricos al parque automotor existente en sustitución de vehículos de combustión que se encuentran en estado de obsolescencia, para lo cual se plantean cuatro hitos en el tiempo, que son: el año base 2014, el 2020 (corto plazo), 2030 (mediano plazo) y 2040 (largo plazo).

Este cambio en la matriz, origina consecuencias positivas desde el punto de vista ambiental ya que los motores eléctricos son menos contaminantes que los de combustión interna, también trae consigo un mejor aprovechamiento de recursos renovables, como es el caso de la generación hidroeléctrica y así disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.

En la tabla 46 y Figura 31, se muestra el Escenario #1, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP).

Tabla 46. Escenario #1, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,00	0,78	4,08	9,91
Queroseno	2,94	2,94	2,94	2,94
Gasolina	17,26	26,59	50,73	83,07
Diesel	16,81	31,41	60,73	100,45
Fuel oil residual	2,94	2,94	2,94	2,94
GLP	0,08	0,14	0,27	0,45
Biomasa	0,03	0,03	0,03	0,03
Total	42,07	64,82	121,71	199,79

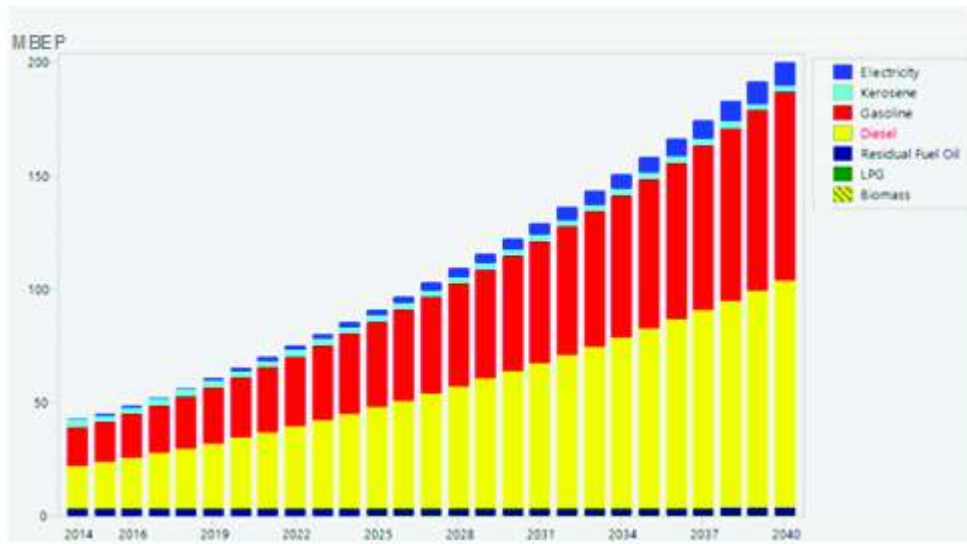


Figura 31. Escenario #1, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040
Fuente El autor

Este crecimiento debe ir acompañado de políticas gubernamentales de incentivo para que la migración tecnológica sea atractiva a los consumidores del sector, estas deberán incluir exoneraciones en los impuestos de importación de estos vehículos y finalmente menores costos de adquisición a los compradores, así como tarifas eléctricas preferenciales que la hagan atractiva.

3.3. Escenario #2 - sustitución parcial de gasolinas convencionales por bio-gasolinas

En este caso se propone dar más fuerza al proyecto biogasolina ecopaís® que lleva el gobierno nacional a fin de que se generalice en todo el territorio, aumentando la oferta del mismo, también se propone aumentar la cantidad porcentual de bioetanol de 5% a 10% gradualmente. Con esto se espera obtener una disminución en el consumo de gasolinas.

El bioetanol por sí solo no es una solución, sin embargo, pasa a ser contribuyente

importante en la disminución del consumo de gasolinas. En la Tabla 47 y Figura 32, se observa como las propuestas de este escenario podrían aumentar el consumo de biomasa (bioetanol) de prácticamente cero en el año base a 7.61 MBEP en el año 2040. Esto representa 3,82% del consumo total de combustibles que tendrían lugar en ese año si no se implementan este tipo de medidas.

Tabla 47. Escenario #2, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,00	0,01	0,01	0,02
Queroseno	2,94	2,94	2,94	2,94
Gasolina	17,26	26,45	51,15	84,61
Diesel	18,81	31,41	60,73	100,45
Fuel oil residual	2,94	2,94	2,94	2,94
GLP	0,08	0,14	0,27	0,45
Biomasa	0,03	0,26	3,06	7,61
Total	42,07	64,15	121,11	199,03

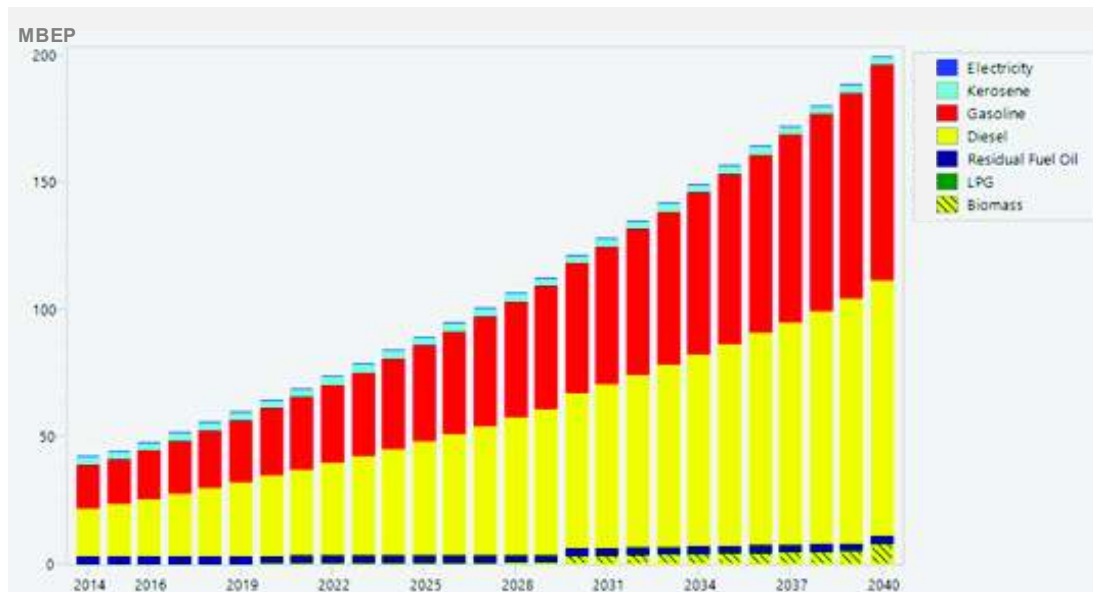


Figura 32. Escenario #2, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040.

3.4. Escenario #3 - sustitución parcial de diésel convencional por biodiesel

Este caso al igual que el anterior va direccionado a la sustitución parcial de componentes del diésel por biodiesel en base de productos oleaginosos de aceite de palma o del procesamiento de aceites procesados producto de desechos residenciales. De igual modo que en caso de las biogasolinas se iniciará con una mezcla de contenido de 5% de producto

orgánico y se llevará a 10% en el transcurso del tiempo.

A diferencia del caso del escenario anterior este va dirigido a otro grupo de vehículos, principalmente a aquellos de motores Diésel como lo son los vehículos de transporte público y vehículos de carga pesada.

En la Tabla 48 se observa como las propuestas de este escenario podrían aumentar el consumo de biomasa (bioetanol) de cero en el año base a $8,33 \times 10^6$ BEP en el año 2040. Esto representa 9% del consumo total de Diésel que tendrían lugar en ese año si no se implementan este tipo de medidas, como se observa en el Figura 33.

Tabla 48. Escenario #3, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,00	0,01	0,01	0,02
Queroseno	2,94	2,94	2,94	2,94
Gasolina	17,26	28,82	55,73	92,19
Diésel	18,81	28,88	55,83	92,35
Fuel oil residual	2,94	2,94	2,94	2,94
GLP	0,08	0,14	0,27	0,45
Biomasa	0,03	0,31	3,38	8,34
Total	42,07	64,04	121,10	199,23

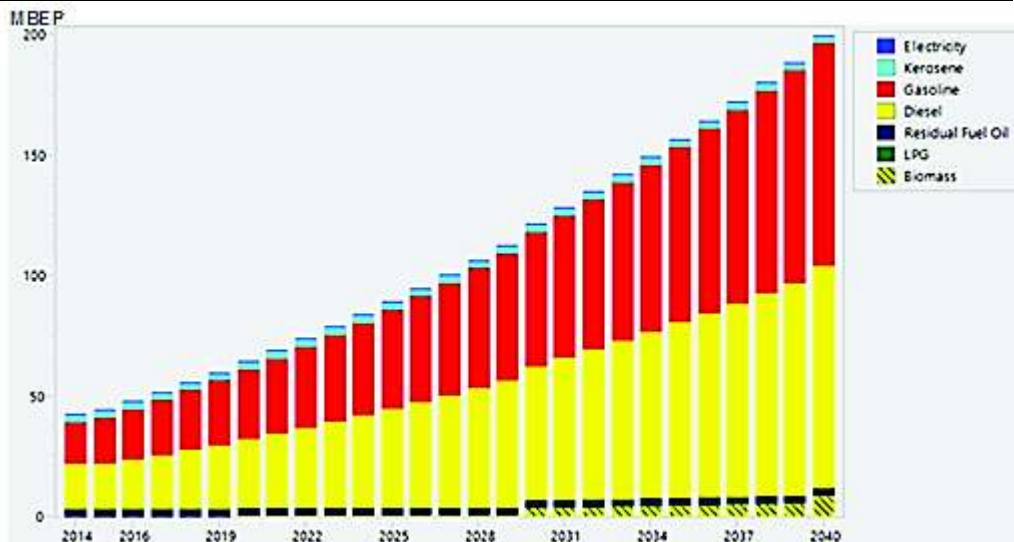


Figura 33. Escenario #3, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040.

3.5. Escenario #4 - combinación de escenarios 1 + 2 +3

En este escenario se estudian cada uno de los escenarios anteriores en conjunto, es decir implementando todas las medidas propuestas en los escenarios anteriores. En este

escenario se espera el mayor aporte en la disminución del consumo de gasolinas en el país y por ende una disminución en la generación de GEI.

En el caso de los vehículos particulares la sumatoria de la demanda de electricidad y biomasa en sustitución de gasolinas presenta un comportamiento interesante de disminución de consumo de gasolinas y diésel, como se puede observar en el Figura 34. Adicionalmente de la Tabla 49 se puede analizar que el comportamiento final al 2040 es que la sumatoria de la electricidad y la biomasa representan un 12,6% del consumo total.

Tabla 49. Escenario #4, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040 (MBEP)

	2014	2020	2030	2040
Electricidad	0,00	0,78	4,08	9,91
Queroseno	2,94	2,94	2,94	2,94
Gasolina	17,26	23,85	46,12	76,29
Diésel	18,81	28,09	54,32	89,86
Fuel oil residual	2,94	2,94	2,94	2,94
GLP	0,08	0,14	0,27	0,45
Biomasa	0,03	0,52	6,03	14,95
Total	42,07	59,26	116,70	197,34

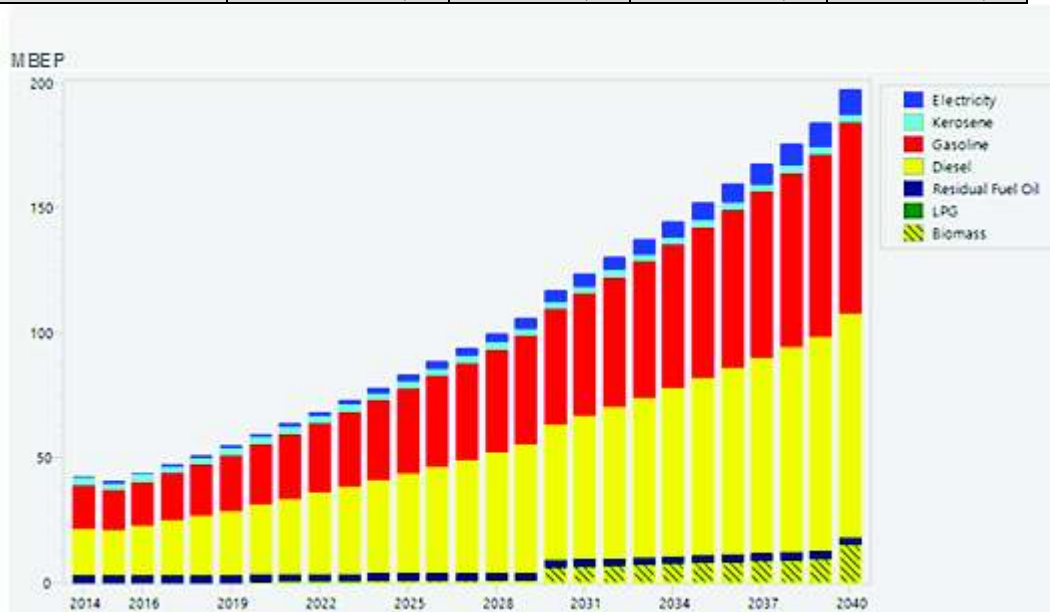


Figura 34. Escenario #4, demanda energética sector transporte de Ecuador periodo 2014 -2040.

3.6. Balance energético 2014 al 2040

El contraste de la matriz energética del 2014 al 2040 permitirá determinar cuál es el efecto de los cambios propuestos en el sector transporte y sus consecuencias en el balance energético del país.

En primer lugar, se presenta en la Figura 35 el balance energético del año base (2014).

Energy Balance for Area "Ecuador Cesar 07-03-18"															
Scenario: Combinados, Year: 2014, Units: Millions Barrel of Oil Equivalent															
	Electricity	Natural Gas	Kerosene	Gasoline	Jet Kerosene	Diesel	Residual Fuel Oil	LPG	Crude Oil	Wood	Hydro	Wind	Solar	Biomass	Total
Producción	-	11,30	-	-	-	-	-	-	201,09	-	-	-	-	-	212,39
Importaciones	2,14	0,88	1,78	17,05	0,48	19,01	10,31	4,90	-	1,00	6,74	-0,05	0,01	5,16	71,70
Exportaciones	-	-11,30	-	-	-	-	-	-	-152,02	-0,28	-	-	-	-2,50	-166,10
Oferta Total Primaria	2,14	0,88	1,78	17,05	0,48	19,01	10,31	4,90	48,07	2,92	6,74	-0,05	0,01	2,66	117,99
Producción de madera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,76	-	-	-	-	-0,76
Refinación de petróleo	-	0,58	1,16	11,18	0,31	12,47	6,76	3,21	-47,57	-	-	-	-	-	-11,89
Producción de carbón	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Generación eléctrica	14,30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transmisión y Distribución	-2,14	-0,07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-2,21
Transformación Total	12,16	0,50	1,16	11,18	0,31	12,47	-2,32	3,21	-47,57	-0,76	-6,74	-0,05	-0,01	-0,24	-16,68
Transporte	0,00	-	2,94	17,26	-	18,81	2,94	0,08	-	-	-	-	-	0,03	42,07
Industrial	5,32	0,38	-	0,01	0,19	7,59	2,66	0,57	-	0,38	-	-	-	1,50	19,50
Residencial	3,96	-	-	-	0,00	-	-	6,36	-	1,58	-	-	-	-	11,90
Comercial	3,12	-	-	-	-	2,22	0,24	0,42	-	-	-	-	-	-	6,00
Agro Pesca Minería	0,55	-	-	0,25	-	0,25	-	-	-	-	-	-	-	-	1,05
Otros Sectores	1,25	1,00	-	6,90	0,60	2,61	1,15	0,88	1,50	-	-	-	-	0,50	16,29
Consumo Propio	-	-	-	3,80	-	-	-	1,00	-	0,20	-	-	-	-	5,00
Demanda Total	14,30	1,38	2,94	28,22	0,79	11,48	7,99	8,11	1,50	2,16	-	-	-	2,43	101,91
Unmet Requirements	-	0,00	-	-0,00	-	-	-0,00	-	0,00	-	-	-	-	-	0,00

Figura 35. Balance de la matriz energética – 2014.

A continuación se presenta en Figura 36, el diagrama de Sankey obtenido del año base y el escenario combinado.

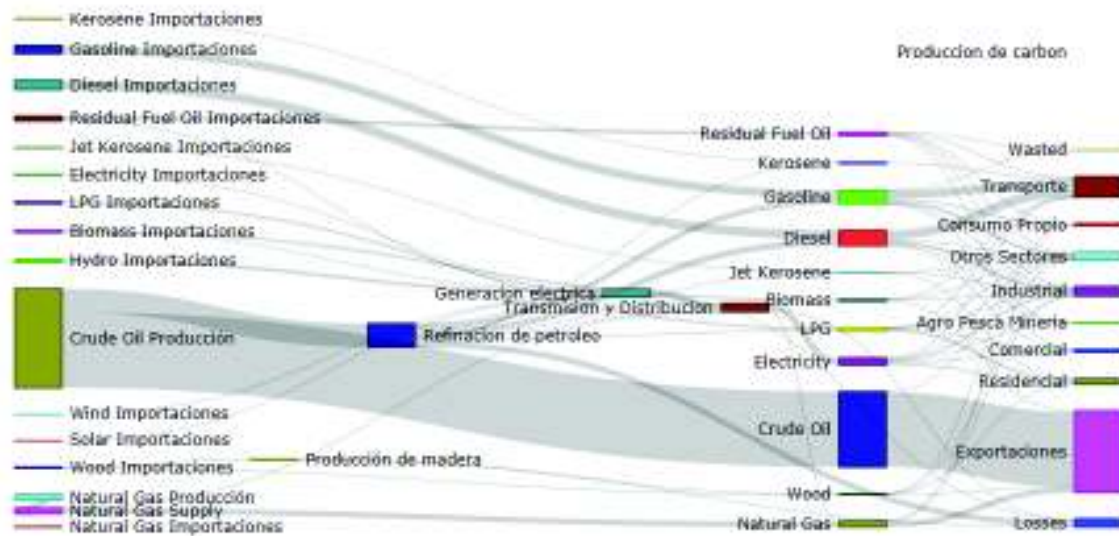


Figura 36. Diagrama de Sankey – 2014.

En el año 2014, en el escenario combinado, el aspecto más relevante a analizar es el alto crecimiento del consumo de combustibles fósiles secundarios (Figura 37), debido al factor de crecimiento del parque automotor. A pesar de que se realicen los esfuerzos por aumentar el parque de vehículos eléctricos y la sustitución parcial de combustibles fósiles por biocombustibles, no se logrará disminuir este consumo sino se toman medidas de carácter restrictivo que favorezcan el uso eficiente de los medios de transporte, así como medidas hacia la construcción de medios de transporte masivos más eficientes, como el

caso del Metro en Quito, tranvía en Cuenca y Quito cables.

Energy Balance for Area "Ecuador 07-01-15"																	
Scenario: Combinado, Year: 2040, Unit: Million Barrel of Oil Equivalents																	
	Electricity	Natural Gas	Kerosene	Gasoline	Jet/Kerosene	Diesel	Residual Fuel Oil	LPG	Crude Oil	Wood	Hydro	Wind	Solar	Biogas	Biomass	Total	
Producción	-	11,30	-	-	-	-	-	-	201,65	-	-	-	-	-	-	212,95	
Importaciones	5,65	1,65	2,50	77,65	0,33	31,45	20,82	3,52	-	3,95	15,52	0,06	0,02	0,02	21,23	252,06	
Exportaciones	-	-11,30	-	-	-	-	-	-	-152,00	-0,17	-	-	-	-	-2,50	-165,93	
Oferta Total Final	5,65	1,65	2,50	77,65	0,33	31,45	20,82	3,52	49,64	3,78	15,52	0,06	0,02	0,02	16,73	255,03	
Producción de madera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,78	-	-	-	-	-	-0,78	
Refinación de petróleo	-	0,25	0,44	13,54	0,16	15,50	3,62	1,73	-47,51	-	-	-	-	-	-	-11,83	
Producción de carbón	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Generación eléctrica	20,70	-	-	-	-	-	-14,52	-	-	-	-15,52	-0,06	-0,02	-0,02	-0,46	-2,90	
Transmisión y Distribución	-4,05	-0,03	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4,08	
Transformación Total	24,07	0,25	0,44	13,54	0,16	15,50	-10,30	1,73	-47,51	-0,78	-15,52	-0,06	-0,02	-0,02	-0,46	-15,65	
Transporte	3,21	-	2,54	76,25	-	83,66	2,34	0,45	-	-	-	-	-	-	-	14,35	157,34
Industrial	7,35	0,52	-	0,01	0,26	10,48	3,67	0,75	-	0,52	-	-	-	-	2,62	25,24	
Residencial	5,54	-	-	-	0,00	-	-	8,65	-	2,21	-	-	-	-	-	16,64	
Comercial	4,31	-	-	-	-	3,01	0,33	0,58	-	-	-	-	-	-	-	8,23	
Agro Pesca Minería	0,75	-	-	0,35	-	0,35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,45	
Otros Sectores	1,65	1,36	-	3,53	0,03	3,61	1,53	0,54	3,01	-	-	-	-	-	0,63	22,50	
Consumo Propio	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,28	-	-	-	-	-	0,28	
Demanda Total	23,73	1,51	2,54	31,43	1,03	107,38	9,52	11,65	3,01	3,01	-	-	-	-	16,27	273,37	
Unmet Requirements	0,00	0,00	-	0,00	0,00	-0,00	-	0,00	-0,00	0,00	-	-	-	-	0,00	-0,00	

Figura 37. Balance de la matriz energética – 2040.

En el diagrama 38 a continuación, se presenta el diagrama de Sankey obtenido del 2040 del escenario combinado.

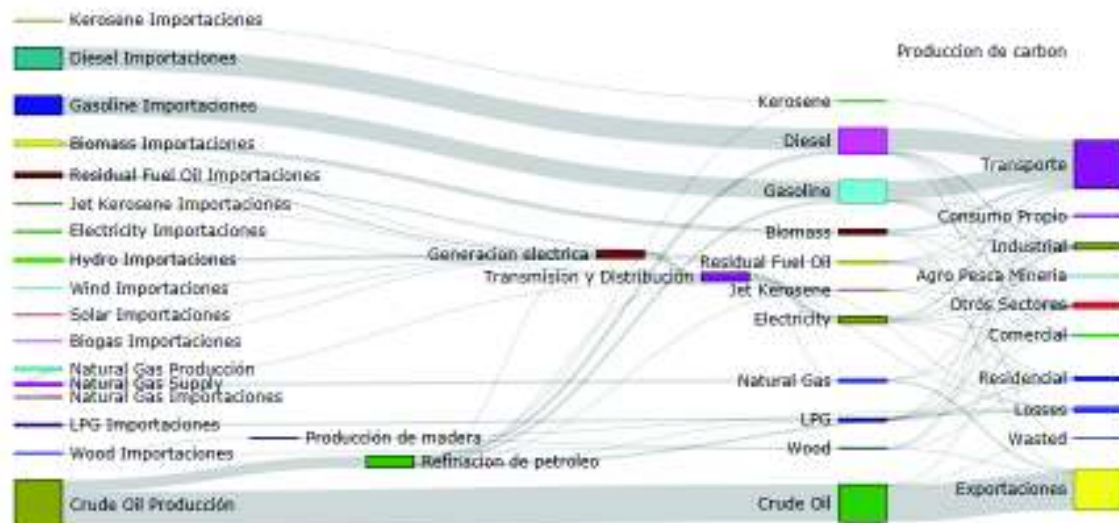


Figura 38. Diagrama de Sankey – 2040

En el año 2040, en el escenario combinado se tendría un superávit energético en el sector eléctrico, gracias a las previsiones de proyectos de generación eléctrica tomada por la planificación estatal, esto permitiría plantear otras estrategias de mejoras en la matriz, aprovechando el recurso renovable.

3.7. Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

El aspecto ambiental es un elemento de interés de la presente investigación ya que con los cambios propuestos de la matriz se espera que se den cambios que sean favorables a disminuir la producción de GEI.

A continuación se presentan los resultados obtenidos, para ello iniciando con el escenario base, se puede observar que sin realizar cambio alguno en el año 2040 se espera tener una producción de 129,85 Mtoneladas métricas equivalentes de CO₂ (ver tabla 50).

Tabla 50. Producción de gases de efecto invernadero (GEI) – escenario base 2014 -2040 (Mtoneladas métricas equivalentes de CO₂)

	2014	2020	2030	2040
Transporte	26,93	38,49	63,72	96,48
Industrial	9,47	9,65	9,78	10,20
Residencial	5,12	5,30	5,49	5,82
Comercial	2,74	2,88	2,98	3,14
Agro Pesca Minería	0,46	0,49	0,50	0,53
Otros Sectores	9,57	9,59	9,84	10,43
Consumo Propio	3,18	3,13	3,13	3,26
Total	57,46	69,52	95,45	129,86

Para establecer un contraste se presentan los resultados del escenario #4, donde se puede observar en la Tabla 51 y Figura 39. La producción de CO₂ en el año 2040 de 119,93 Mtoneladas métricas equivalentes de CO₂.

Este resultado da muestra de una mejora en el aspecto ambiental ya que se logra disminuir las emisiones de GEI al 2040 como resultado de la implementación de acciones que modifiquen la matriz energética del sector transporte.

Tabla 51. Producción de gases de efecto invernadero (GEI) – escenario #4 - 2014 -2040 (Mtoneladas métricas equivalentes de CO₂)

	2014	2020	2030	2040
Transporte	26,93	34,73	57,58	87,08
Industrial	9,47	9,82	9,78	10,01
Residencial	5,12	5,35	5,40	5,57
Comercial	2,74	2,91	2,90	2,93
Agro Pesca Minería	0,46	0,49	0,49	0,49
Otros Sectores	9,57	9,76	9,97	10,49
Consumo Propio	3,18	3,21	3,21	3,35
Total	57,46	66,26	89,33	119,93

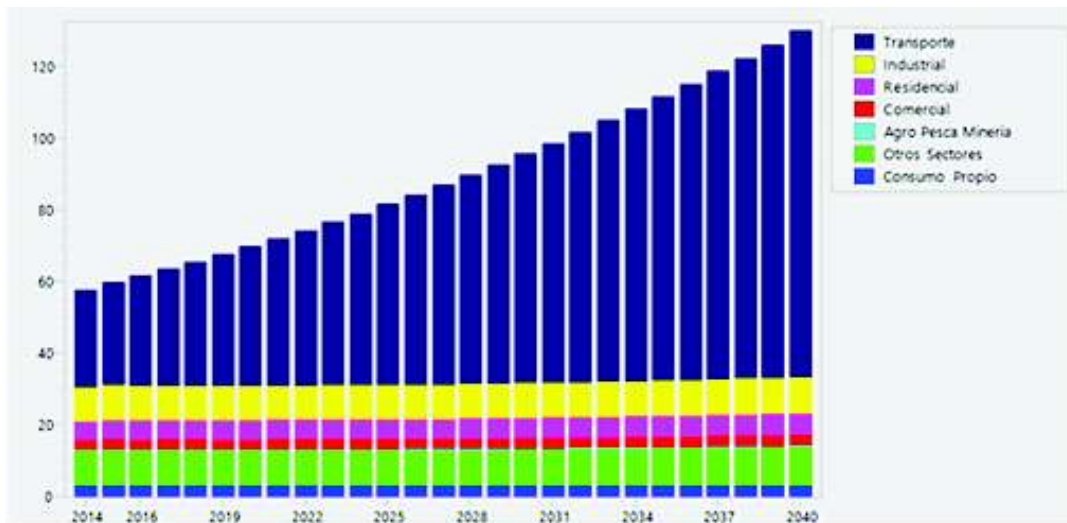


Figura 39. Escenario 4 - Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) – periodo 2014 – 2040 (Mtoneladas métricas equivalentes de CO₂)

Se estaría mitigando en un 7,65% la producción de GEI con la implementación del escenario #4, esto en valores absolutos sería $9,938 \times 10^6$ toneladas métricas equivalentes de CO₂.

3.8. Definición de metas

En función de los objetivos y escenarios propuestos se definen metas estratégicas, siguiendo la metodología descrita por la OLADE (ver anexo D), para alcanzar logros que sean cuantificables en el tiempo y sirvan de indicadores de la gestión energética del sector transporte, es por ello que la investigación se enfoca en el análisis de la situación del transporte en Ecuador, para identificar el desperdicio de energía y las oportunidades de eficiencia energética en este sector. Cuantitativamente las metas son el resultado de comparar los datos arrojados en el análisis del escenario #4, en el corto, mediano y largo plazo, con los datos del escenario base en los mismos plazos, lo que significa implementar los cambios planteados en la combinación de escenarios (escenario #4).

- Disminuir 15% el consumo de energías fósiles, con respecto al año 2014, en específico gasolinas y diésel, implementando las consideraciones del escenario #4.
- Disminuir 4% el impacto de los GEI, implementando las consideraciones del escenario #4.
- Iniciar un cambio socio cultural respecto al paradigma del uso de energías

alternativas en el sector transporte.

- Crear políticas de estado para el incentivo del uso de las energías alternativas en el sector transporte.
- Crear infraestructura para viabilizar la introducción de las nuevas tecnologías.
- Gestionar la investigación y el desarrollo de tecnologías de energías alternativas para el sector transporte.

3.8.1. Mediano plazo (Año 2030)

- Disminuir 15% el consumo de energías fósiles, con respecto al año 2014, en específico gasolinas y diésel.
- Disminuir 7% el impacto de los (GEI), con respecto al año 2014.
- Impulsar el cambio socio cultural respecto al paradigma del uso de energías alternativas en el sector transporte.
- Fiscalizar el cumplimiento de normas y políticas de estado para el incentivo del uso de las energías alternativas en el sector transporte.
- Aumentar la infraestructura para la producción, comercialización y distribución de las nuevas tecnologías de energías alternativas.
- Gestionar la investigación y el desarrollo de tecnologías de energías alternativas para el sector transporte.

3.8.2. Largo plazo (Año 2040)

- Disminuir 16% el consumo de energías fósiles, con respecto al año 2014, en específico gasolinas y diésel.
- Disminuir 8% el impacto de los (GEI), con respecto al año 2014.
- Impulsar el cambio socio cultural respecto al paradigma del uso de energías alternativas en el sector transporte.
- Fiscalizar el cumplimiento de normas y políticas de estado para el incentivo

del uso de las energías alternativas en el sector transporte.

- Aumentar la infraestructura para la producción, comercialización y distribución de las nuevas tecnologías de energías alternativas.
- Gestionar la investigación y el desarrollo de tecnologías de energías alternativas para el sector transporte.

4. CONCLUSIONES

En general, se efectuó un análisis prospectivo de largo plazo de la matriz energética de Ecuador, enfocado en el sector transporte, dado que tiene la mayor demanda de energía de todos los sectores, esperándose de mantenerse las tendencias actuales que crezca junto con un aumento en la flota de vehículos y, a su vez las emisiones de GEI. Se evaluaron tres (3) escenarios de cambio y su combinación, en función del uso adecuado de los recursos energéticos con los que cuenta el país, además de reducir la emisión de GEI en el sector transporte y de reducir las importaciones de combustibles fósiles. Específicamente:

1. La matriz energética actual en Ecuador posee aspectos de mejora que dieron pie al desarrollo de la investigación, en función de los resultados de los análisis de los escenarios, se tiene como conclusiones las descritas a continuación:
 - Es imperativo la materialización de los proyectos de ampliación del sector de generación eléctrica, con énfasis en las fuentes primarias renovables, principalmente la hidroeléctrica, seguida de la eólica, geotérmica.
 - Existen distintos escenarios para solventar el problema de los combustibles fósiles, de los cuales en esta investigación se desarrolló su sustitución por energías alternativas.
 - Se obtuvo como resultado que para el 2040 se requeriría duplicar la oferta de producción eléctrica del año base (2014) ya que se tendrá un déficit de 6,8 millones de BEP.
2. Como resultado también relevante se obtuvo que bajo el escenario 4 que es el de aplicación simultánea de todas las medidas o escenarios (sustitución eléctrica, aumento de oferta de biogasolinas y biodiesel), se obtiene una disminución del 10% de los GEI de Ecuador al 2040 en comparación de que no se tomara ninguna medida y se continuase con el modelo energético actual.
3. En términos absolutos de magnitud de ahorro energético de fuentes fósiles, el escenario más óptimo para la matriz energética es el #1 de sustitución de vehículos eléctricos, ya que produce una disminución de 9,88 % del consumo de gasolinas y diésel, así como de los efectos de GEI.
4. Los escenarios de sustitución de biogasolinas y biodiesel por si solos tienen un bajo impacto en la matriz general, sin embargo, en combinación hacen aportes

significativos a la mejora de la matriz energética, al igual que de disminución de emisiones de GEI, el desarrollo de políticas de estado que incentiven la sustitución es vital para el aseguramiento de hasta un 8% en la mejora de la matriz energética.

Trabajos futuros

El mantenimiento de los datos y la revisión permanente de la metodología, herramientas de análisis, evaluación del sector transporte, los replanteos de la matriz energética en tiempo real, inducen a plantear la creación dentro de la línea de investigación dedicada al tema de la energía, de un centro de investigación regentado por la Universidad y especializado en la problemática, que puede convertirse en un invaluable aporte a nuestra sociedad.

Entidades como OLADE, INER y MEER en sus planificaciones institucionales, elaboran y desarrollan proyectos enfocados a la eficiencia y mejora de todos los sectores energéticos, especialmente del transporte que es donde se genera la mayor dificultad y generación de GHG que son los que se desea mitigar, todo esto junto a los proyectos que ya se vienen desarrollando en las principales ciudades del país y que van a solventar algunos problemas del transporte en el Ecuador.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Andrés, L., & Padilla, E. (2014). Intensidad energética en el transporte de mercancías por carretera de vehículos pesados. España. 1996-2010. *XIV JORNADAS DE ECONOMÍA CRÍTICA*, 109-133.
- Ang, B. W., & Zhang, F. Q. (2000). A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies. *Energy*, 25, 1149-1176.
- ARCONEL. (2015). *Pruebas para la introducción de vehículos eléctricos en Ecuador*. Quito: Agencia de regulación y control de la electricidad.
- ARCONEL. (2018). *Informe de las pruebas de vehículos y motocicletas eléctricas en Galapagos*. Quito: Agencia de regulación y control de la electricidad.
- Baca, J. C. (2014). *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero. Sector energía. Año 2011*. Quito: Distrito metropolitano de Quito, secretaria de ambiente.
- Banco Mundial. (13 de Diciembre de 2016). <http://datos.bancomundial.org/>. Obtenido de <http://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.CD?locations=EC>
- Barreto Nieto, C. A., & Campo Robledo, J. (2012). Relación a largo plazo entre consumo de energía y PIB en América Latina: Una evaluación empírica con datos panel. *Ecos de Economía*, 73-89.
- Castro, M. (Abril de 2012). Reflexiones en torno al desarrollo de los biocombustibles en Ecuador. *Temas de Análisis*(25).
- CEDA. (2011). *Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador*. Quito: Centro Ecuatoriano de derecho ambiental. Recuperado el 25 de Noviembre de 2016
- Consejo Europeo. (2014). *Conclusiones sobre el marco de actuación en materia de clima y energía hasta el año 2030*. Bruselas: Consejo Europeo.
- CONUEE. (2017). *Vehículo Híbrido*. Mexico: COMISIÓN NACIONAL PARA EL USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA.
- CRANE. (1999). *Flujo de Fluidos en Válvulas, Accesorios y Tuberías*. USA: McGrawHill.
- EP PetroEcuador. (24 de Agosto de 2015). <http://www.eppetroecuador.ec/>. Obtenido de <http://www.eppetroecuador.ec/?p=2510>
- Fernández, P. (2012). *Técnicas de descomposición de variaciones basadas en índices de divisia. Algunas aplicaciones Medioambientales*. Oviedo-España: Universidad de Oviedo.
- Fundación Ciudadanía y Valores. (1 de Enero de 2010). <http://www.funciva.org/>. (L. Comunicación, Ed.) Recuperado el 4 de Diciembre de 2016, de http://www.funciva.org/publicaciones/pilares_politica_energetica_comun.pdf
- García Ramos, M. L. (1 de Octubre de 2011). <http://www.fgcsic.es>. Obtenido de

- http://www.fgcsic.es/lychnos/es_es/tribuna/hacia_un_cambio_de_paradigma_energetico_en_el_sector_de_automocion
- Gomelski, R., Chiliquinga, B., & Figueroa, F. (2011). *Propuesta de Lineamientos de Política y Estrategia Nacional de Biocombustibles para Ecuador*. Quito: Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.
- Guinea, D. (2011). *Un futuro para el transporte: sol, hidrógeno..., pila de combustible*. España: Lychnos .
- Heaps, C. (1 de 5 de 2017). <https://www.energycommunity.org/>. Obtenido de <https://www.energycommunity.org/default.asp>
- Hernandez Sampieri, R. (2014). *Metodología de la Investigación* (Vol. 6ta). Mexico: Mc Graw Hill.
- IEA. (1 de March de 2013). <https://www.iea.org>. (I. E. Agency, Ed.) Recuperado el 27 de 11 de 2016, de https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/IEA_Annual_Report_publicversion.pdf
- IEA. (2017). *Global EV Outlook 2017, Two million and counting*. Francia: International Energy Agency.
- INEC. (01 de enero de 2010). <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>. (I. N. Censos, Ed.) Recuperado el 24 de Noviembre de 2016, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/Proyecciones_Poblacionales/presentacion.pdf
- INEC. (10 de Marzo de 2015). <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/>. (I. n. censos, Ed.) Recuperado el 10 de Diciembre de 2016, de http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_Economicas/Estadistica%20de%20Transporte/Publicaciones/Anuario_de_Estad_de_Transporte_2014.pdf
- INER. (1 de Julio de 2013). *Uso de energías alternativas en el transporte marítimo de pasajeros en Galápagos*. (I. n. renovables, Ed.) Recuperado el 27 de Noviembre de 2016, de http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/07/02_Uso-de-energ%C3%ADas-alternativas-en-el-transporte-mar%C3%ADtimo-de-pasajeros-en-Gal%C3%A1pagos_AM.pdf
- INER. (1 de Enero de 2014). <http://www.iner.gob.ec>. (I. n. renovables, Ed.) Recuperado el 27 de Noviembre de 2016, de http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/12/TRANSPORTE_DOSSIER.pdf
- INER. (2015). *Evaluación energética y de fiabilidad mecánica de vehículo eléctrico; y pruebas de consumo y calidad de energía del cargador electrónico*

- EVA040KS480/01 BYD*. Quito: Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.
- Klass, D. (2004). Biomass for Renewable Energy and Fuels. (E. o. Energy, Ed.) *Elsevier Inc.*, 1, 193-212.
- Lamers, P., Hamelinck, C., Junginger, M., & Faaij, A. (Agosto de 2011). International bioenergy trade - A review of past developments in the liquid biofuel market. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6), 2655-2676.
- Martínez Rodríguez, J. (01 de Julio de 2011). <http://www.cide.edu.co/>. Obtenido de <http://www.cide.edu.co/ojs/index.php/silogismo/article/viewFile/64/53>
- MCPEC. (16 de Mayo de 2017). <http://www.produccion.gob.ec>. (E. y. Ministerio Coordinador de Producción, Productor) Obtenido de <http://www.produccion.gob.ec/ecopais-una-muestra-del-cambio-de-la-matriz-productiva/>
- MEER. (2016). *Avances en el sector de transporte eléctrico*. Quito: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.
- MICSE. (Septiembre de 2013). Sectores Estratégicos, avanzamos en el cambio de la matriz energética. *Sectores Estratégicos para el Buen Vivir*(1), 4-5. Recuperado el 25 de Noviembre de 2016
- MICSE. (2015). *Balance energético nacional 2015*. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. Recuperado el 24 de Noviembre de 2016
- Moreira, D. G. (7 de Junio de 2010). <http://www.highmotor.com>. Obtenido de <http://www.highmotor.com/tipos-vehiculos-electricos-hibridos-electricos-autonomia-extendida.html>
- MTOP. (2012). *Plan estratégico del ministerio de transporte y obras públicas*. QUITO: MTOP.
- Naciones Unidas. (1992). *CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO*. New York: ONU.
- Noboa, E. (2012). *El transporte en la matriz energética del Ecuador*. Quito: MICSE.
- OLADE. (4 de Diciembre de 2016). <http://www.olade.org/>. (O. L. Energía, Productor) Obtenido de <http://www.olade.org/progproy/planificacion-energetica/manual-de-planificacion/>
- Pasquevich, D. M. (2017). *LA CRECIENTE DEMANDA MUNDIAL DE ENERGÍA FRENTE A LOS RIESGOS AMBIENTALES*. Argentina: Instituto de Energía y Desarrollo Sustentable, Comisión Nacional de Energía Atómica. Obtenido de <http://aargentinapciencias.org/2/index.php/grandes-temas-ambientales/energia-y-ambiente/161-la-creciente-demanda-mundial-de-energia-frente-a-los-riesgos->

ambientales

- REN21. (2016). *ENERGÍAS RENOVABLES 2016, REPORTE DE LA SITUACIÓN MUNDIAL*. Francia: Renewable Energy Policy Network for the 21th century.
- Rifkin, J. (2003). *The Hydrogen Economy: The Creation of the Worldwide Energy Web and the Redistribution of Power on Earth*. New York: Penguin Group. Recuperado el 26 de Noviembre de 2016
- Rodríguez, M. (10 de Diciembre de 2010). <https://metodologiasdelainvestigacion.wordpress.com>. Obtenido de <https://metodologiasdelainvestigacion.wordpress.com/2010/12/10/la-tecnica-prospectiva-de-los-escenarios/>
- Schrattenholzer, L., & Lior, N. (2005). International energy workshop 2003. *IISA*, 2523-2524. Recuperado el 27 de Noviembre de 2016
- SEI. (2008). Annual Report 2008. *Stockholm Environment Institute*. Recuperado el 27 de noviembre de 2016, de <https://www.sei-international.org/mediamanager/documents/Publications/SEI-AnnualReport-2008.pdf>
- Sigüenza, F., & Silva, R. (2007). *El petroleo ecuatoriano y su incidencia en la economía nacional*. Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Economicas. Cuenca: Universidad de Cuenca. Recuperado el 24 de Noviembre de 2016
- Toro, N. (2016). *ANÁLISIS Y MONITOREO PARA LA GESTIÓN ESTRATÉGICA DE POLÍTICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CHILE MEDIANTE MÉTODOS DE DESCOMPOSICIÓN POR ÍNDICES*. Santiago de Chile: Universidad de Chile.
- UNFCCC. (2015). *Paris declaration on electro-mobility and climate change & call to action*. Paris: United Nations Framework Convention on Climate Change. Obtenido de <http://newsroom.unfccc.int/media/521376/paris-electro-mobility-declaration.pdf>
- United Nations. (25 de Sep de 2015). <https://sustainabledevelopment.un.org>. Obtenido de <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld>
- Wang, W. W., Zhang, M., & Zhou, M. (2011). Using LMDI method to analyze transport sector CO2 emissions in China. *Energy*, 5909-5915.

Anexos

Anexo A - Descripción del proceso de simulación en LEAP®

Diagrama de flujo de la simulación

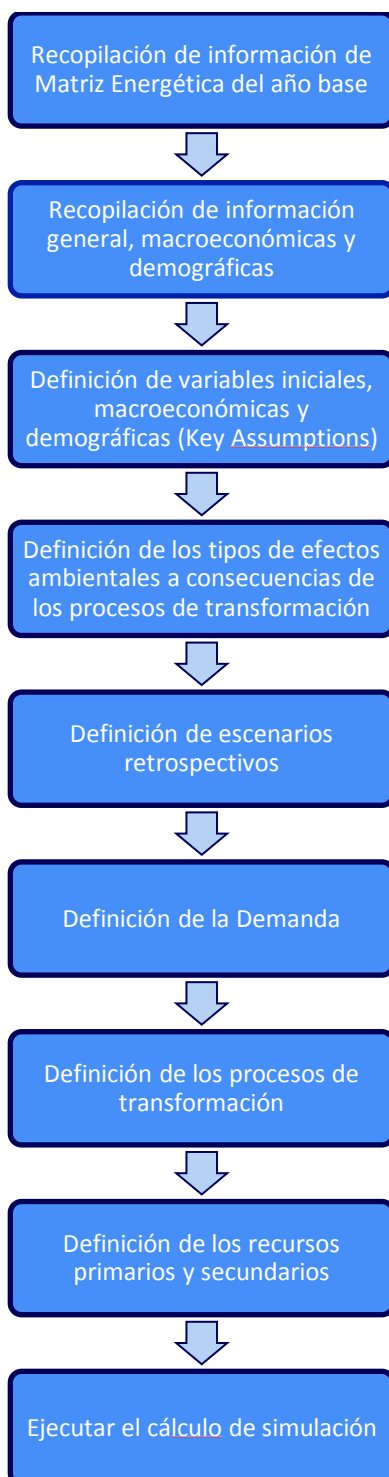


Figura 40. Diagrama de flujo del proceso de simulación en LEAP®
Fuente: El autor

Anexo B - Definición del modelo

Para ejecutar el LEAP®, es necesario seguir los pasos del diagrama de flujo del anexo A, la información cargada se describe sucesivamente a continuación, y se refiere a los indicadores macroeconómicos, demográficos, demanda energética sector transporte, industrial, residencial, comercial, agro, pesca, minería, consumo propio, los desgloses por tipo de fuente, la producción, transmisión y distribución real de energía, así como los valores de capacidades y reservas de las fuentes energéticas. Para el caso en estudio, se describe a continuación.

Caracterización de la matriz energética de Ecuador al 2014

La presente investigación ha dado inicio a comienzos del año 2016, por esta razón se utiliza la información del balance energético nacional (BEN) del año 2014 (MICSE, 2015), que es el más completo para la fecha donde se puede resumir la matriz energética del país.

Variables macroeconómicas y demográficas

Tabla 52. Variables macroeconómicas y demográficas de Ecuador en el 2014

Variables	Valor	Unidad	Nota
Ingreso per Cápita	6.345,84	US\$	(1)
Población	15,5	Millones Personas	(2)
Personas por Hogar	3,7	Personas	(3)
Número de hogares	4,2	Millones Hogares	(4)
Producto interno bruto (PIB)	100,92	Billones US\$	(5)
Tasa de crecimiento del Ingreso per cápita	2,1	Porcentaje	(6)
Tasa de crecimiento poblacional	1,25	Porcentaje	(7)

Fuente: (Banco Mundial, 2016) (1) (5) (6)

Fuente: (INEC, 2010) (2) (3) (4) (7)

Valores de la demanda energética del sector transporte

Tabla 53. Demanda del sector transporte

Descripción	Valor	Unidad
Demanda	42,1	MBEP
Vehículos Particulares	1.656,93	k-Vehículos
Vehículos Alquiler	64,36	k-Vehículos
Vehículos Otros	31,42	k-Vehículos
Total Vehículos	1.752,71	k-Vehículos
BEP	84,00	\$/BEP

TRANSPORTE	%	Demanda (MBEP)	Particulares (MBEP)	Alquiler (MBEP)	Otros (MBEP)	(\$/ Vehículo) /año
Diésel	44,790	18,812	17,784	0,691	0,337	901,569
Gasolinas	41,000	17,220	16,279	0,632	0,309	825,281
LPG	0,200	0,084	0,079	0,003	0,002	4,026
Electricidad	0,010	0,004	0,004	0,000	0,000	0,201
Kerosene/Jet Fuel	7,000	2,940	2,779	0,108	0,053	140,902
Fueloil	7,000	2,940	2,779	0,108	0,053	140,902

Fuente: (MICSE, 2015)

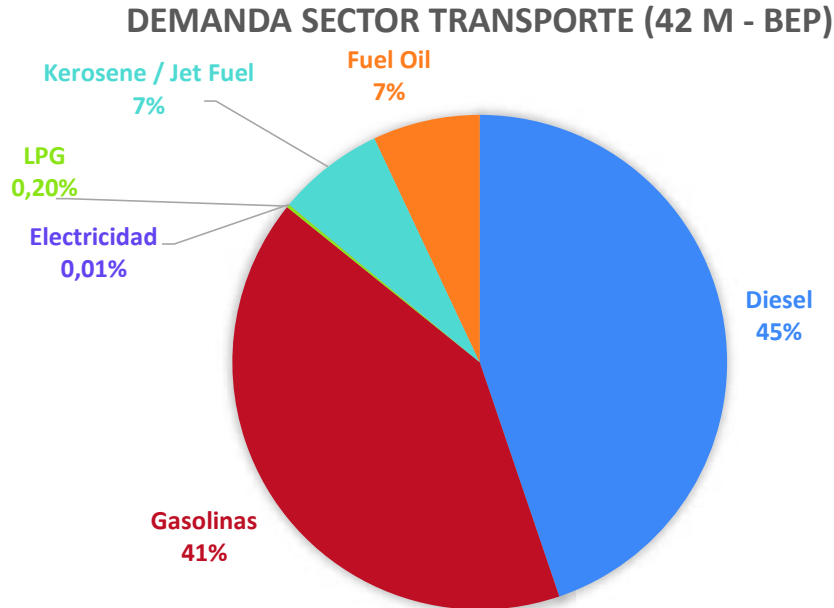


Figura 41. Demanda del sector transporte
Fuente: (MICSE, 2015)

Valores de la demanda energética del sector industria

Tabla 54. Demanda del sector industria

INDUSTRIA	%	MBEP	Urbano 68,2%	Rural 31,8%	\$/Personas
Diésel	39,97	7,59	5,18	2,41	41,16
Gasolinas	0,03	0,01	0,004	0,002	0,03
LPG	3,00	0,57	0,39	0,18	3,09
Electricidad	28,00	5,32	3,63	1,69	28,83
Caña	10,00	1,90	1,30	0,60	10,30
Leña	2,00	0,38	0,26	0,12	2,06
Gas Natural	2,00	0,38	0,26	0,12	2,06
Kerosene / Jet Fuel	1,00	0,19	0,13	0,06	1,03
Fuel Oil	14,00	2,66	1,81	0,85	14,42

Fuente: (MICSE, 2015)

DEMANDA SECTOR INDUSTRIAL (19 M - BEP)

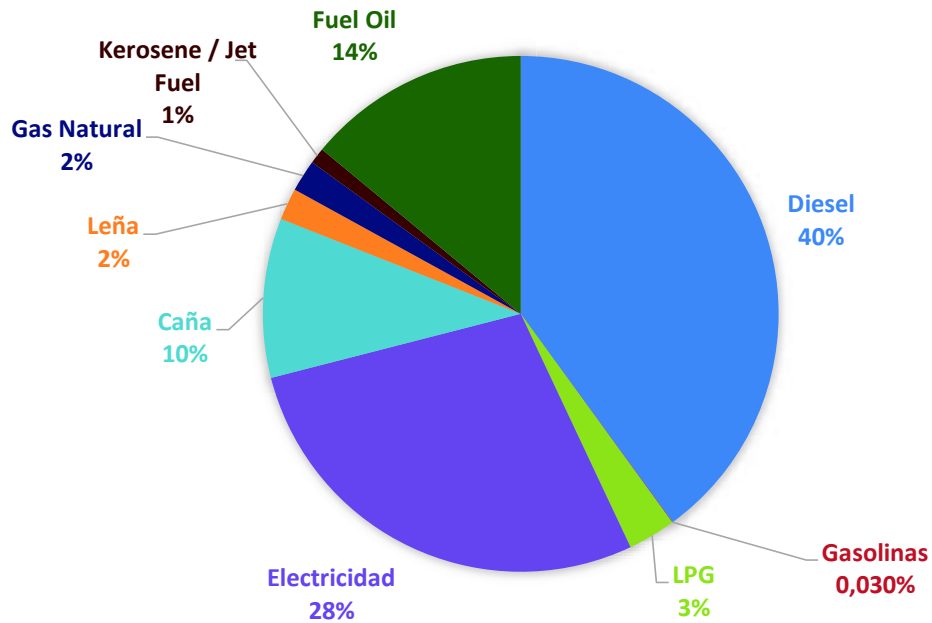


Figura 42. Demanda del sector industria

Fuente: (MICSE, 2015)

Valores de la demanda energética del sector residencial

Tabla 55. Demanda del sector residencial

RESIDENCIAL	%	MBEP	Urbano 68,2%	Rural 31,8%	\$/hogar
LPG	53,00	6,36	4,34	2,02	127,20
Electricidad	33,00	3,96	2,70	1,26	21,46
Leña	14,00	1,68	1,15	0,53	9,10
Kerosene / Jet Fuel	0,002	0,0002	0,0002	0,0001	0,001

Fuente: (MICSE, 2015)

DEMANDA SECTOR RESIDENCIAL (12 M - BEP)

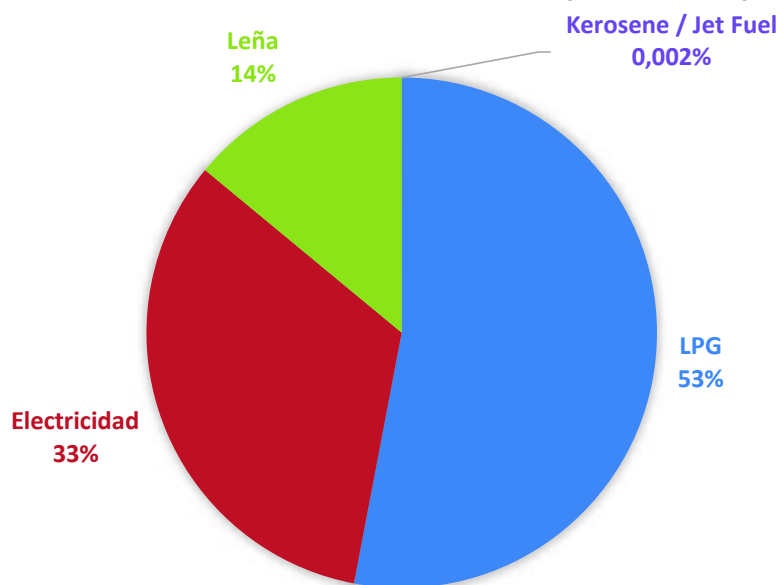


Figura 43. Demanda del sector residencial
Fuente: (MICSE, 2015)

Valores de la demanda energética del sector comercial

Tabla 56. Demanda del sector comercial

COMERCIAL	%	MBEP	Urbano 68,2%	Rural 31,8%	\$/persona
LPG	7,00	0,42	0,29	0,13	2,28
Electricidad	52,00	3,12	2,13	0,99	16,91
Fuel Oil	4,00	0,24	0,16	0,08	1,30
Diésel	37,00	2,22	1,51	0,71	12,03

Fuente: (MICSE, 2015)

DEMANDA SECTOR COMERCIAL (6 M - BEP)

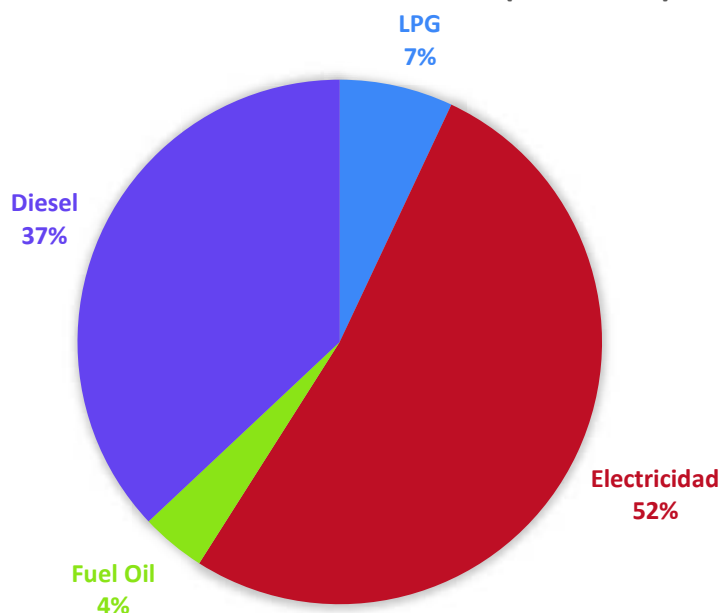


Figura 44. Demanda del sector comercial
Fuente: (MICSE, 2015)

Valores de la demanda energética por tipo de sector

Tabla 57. Demanda por sector

Por Sector	%	MBEP	Urbano 68,2%	Rural 31,8%	\$/persona
Transporte	42,00	42,42	28,93	13,49	229,89
Industria	18,00	18,18	12,40	5,78	98,52
Residencial	12,00	12,12	8,27	3,85	65,68
Comercial	6,00	6,06	4,13	1,93	32,84
Agro, pesca, minería	1,00	1,01	0,69	0,32	5,47
Otros sectores	16,00	16,16	11,02	5,14	87,58
Consumo Propio	5,00	5,05	3,44	1,61	27,37

Fuente: (MICSE, 2015)

DEMANDA POR SECTOR (101 M - BEP)

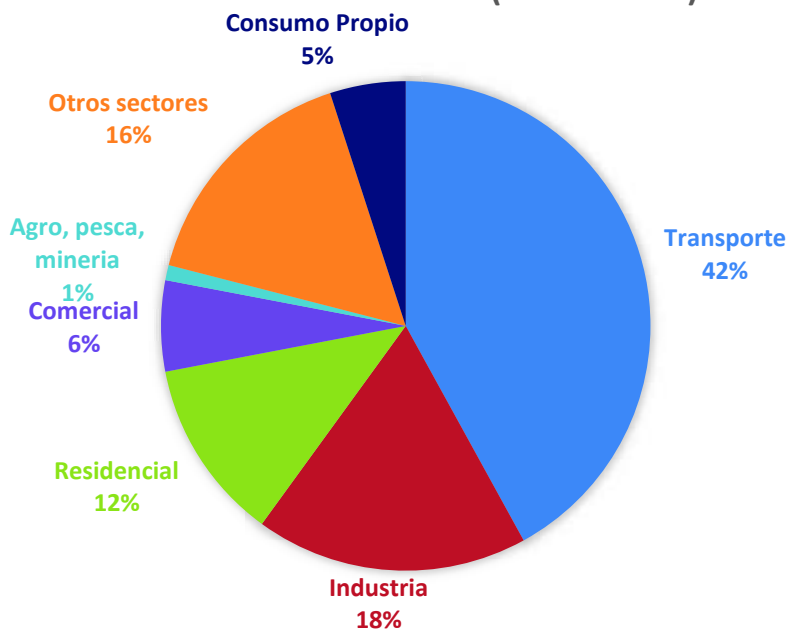


Figura 45. Demanda por tipo de Sector
Fuente: (MICSE, 2015)

Valores de la demanda energética por tipo de fuente

Tabla 58. Demanda por fuente

Por Fuente	%	MBEP	\$/persona
Diésel	31,00	31,31	169,68
Kerosene/Jet Fuel	3,00	3,03	16,42
Gasolinas	28,00	28,28	153,26
LPG	8,00	8,08	43,79
Electricidad	14,00	14,14	76,63
Caña	2,00	2,02	10,95
Leña	2,00	2,02	10,95
Gas Natural	0,30	0,30	1,64
Petróleo	1,00	1,01	5,47
Otras	0,50	0,51	2,74
No Energético	3,00	3,03	16,42
Fuel Oil	8,00	8,08	43,79

Fuente: (MICSE, 2015)

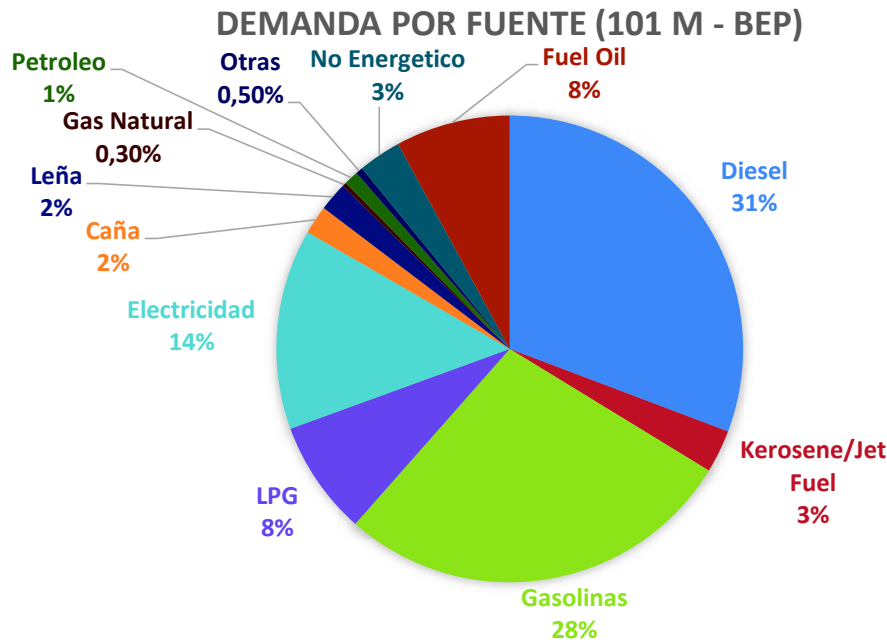


Figura 46. Demanda por fuente
Fuente: (MICSE, 2015)

Valores de los procesos de transformación o procesamiento energético

El análisis de transformación y transporte energético simula el proceso de las distintas formas de energías desde el punto de extracción de la fuente primaria o de los combustibles importados hasta el punto final de consumo.

Los datos de transformación son definidos en dos niveles. El nivel principal y un subnivel, en el primero se representan las industrias energéticas o sectores de generación de electricidad, refinación, calefacción o producción de carbón. El subnivel describe los procesos individuales de a cada módulo principal como por ejemplo plantas de generación eléctrica por motores de combustión interna o plantas de refinación de petróleo, en este subnivel se definen los diferentes combustibles o fuentes de energía producidas por cada nivel.

En esta etapa se definen los parámetros básicos para la simulación de los procesos de la industria energética, se especifican las restricciones de capacidad, eficiencia, costos de capital, operativos o de mantenimiento y finalmente es aquí donde se definen los factores de emisión de gases de efecto invernadero GEI.

En el caso de estudio se definen cuatro formas de transformación energética, transmisión

y distribución, generación eléctrica, producción de carbón y refinación de petróleo (Ver Figura 47).

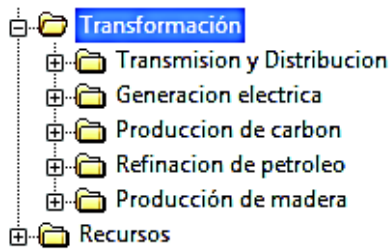


Figura 47. Tipos de formas de transformación energética del estudio
Fuente: LEAP®

En el caso de la transmisión y distribución, el proceso se subdivide en electricidad y gas natural como se ilustra en el Figura 49. En esta etapa del proceso es necesario definir las pérdidas que se producen en el proceso de transmisión eléctrica y en el transporte o distribución del gas natural, es de hacer notar que en Ecuador no tenemos gasoductos importantes.

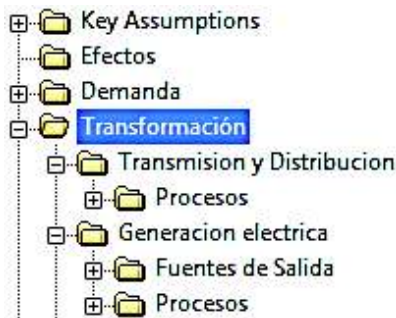


Figura 48. Transmisión y distribución
Fuente: LEAP®

En el proceso de transporte, transmisión y distribución de la electricidad y el gas natural existen pérdidas de energía en el proceso, estas deben ser definidas a modo de obtener un proceso de simulación más ajustado a la realidad, en el caso de estudio estas se definen según los valores definidos en la Tabla 59.

Tabla 59. Definición de pérdidas en transmisión y distribución

Descripción	Pérdida (%)	Nota
Electricidad	13	(1)
Gas Natural	5	(2)

(1) Fuente: (Banco Mundial, 2016)

(2) Fuente: (CRANE, 1999)

Elaborado por. El autor

Finalmente, en el proceso de transmisión y distribución existen productos y subproductos (desechos) que deben definirse, estos son la electricidad y el gas natural que pueden observarse en la Figura 49 y son representados por esferas de color amarillo. También puede observarse que en el caso del gas natural se tiene unos subproductos contaminantes que se obtienen al entrar en combustión el mismo, estos son dióxido de carbono, monóxido de carbono, metano, componentes volátiles orgánicos, óxido de nitrógeno, óxido nitroso, dióxido sulfuro. Estos se encuentran presentes en distintos porcentajes dentro de la composición del gas natural, dicha composición se detalla en el Figura 50.

Los componentes contaminantes tienen la importancia de ser definidos en esta etapa a fin de obtener valores finales totales de la cantidad de gases de contaminantes que son arrojados a la atmosfera y que determinan el grado de polución o contaminación de una matriz energética.

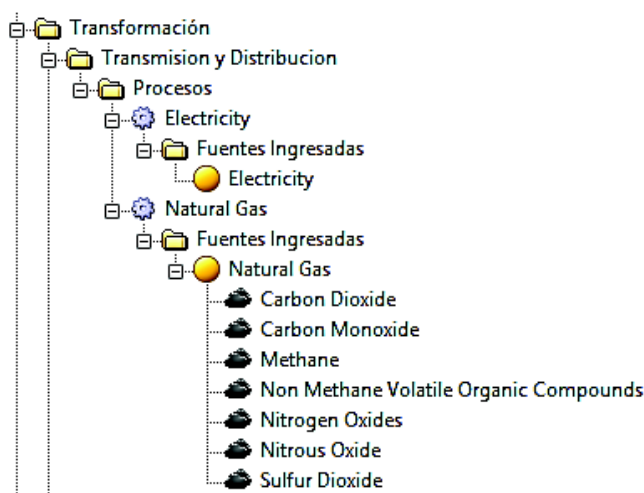


Figura 49. Transmisión y distribución – productos combustibles y desechos
Fuente: El autor

Branch	Effect	Expression	Units	Per	Method
Carbon Dioxide	Carbon Dioxide (CO2)	15.3 * FractionOxidized * (CO2 Metric Tonne	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Carbon Monoxide	Carbon Monoxide (CO)	20	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Methane	Methane (CH4)	1	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Non Methane Volatil	Non Methane Volatile Organ 5		Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Nitrogen Oxides	Nitrogen Oxides (NOx)	150	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Nitrous Oxide	Nitrous Oxide (N2O)	0.1	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Sulfur Dioxide	Sulfur Dioxide (SO2)	0	Kilogramme	Kilogramme	Per unit energy consumed

Figura 50. Contaminantes producto de la combustión del gas natural
Fuente: LEAP®

La siguiente forma de transformación es la generación eléctrica, esta se subdivide en dos pestañas principales, la primera el combustible producido, que en este caso es la

electricidad y la segunda el proceso que básicamente se divide en dos procesos principales, la generación por combustión y la hidroeléctrica. (Ver Figura 51)

En el caso de las turbinas de combustión el combustible definido es el fueloil y en las hidroeléctricas el combustible son las cuencas hidrográficas (cuerpos de agua).

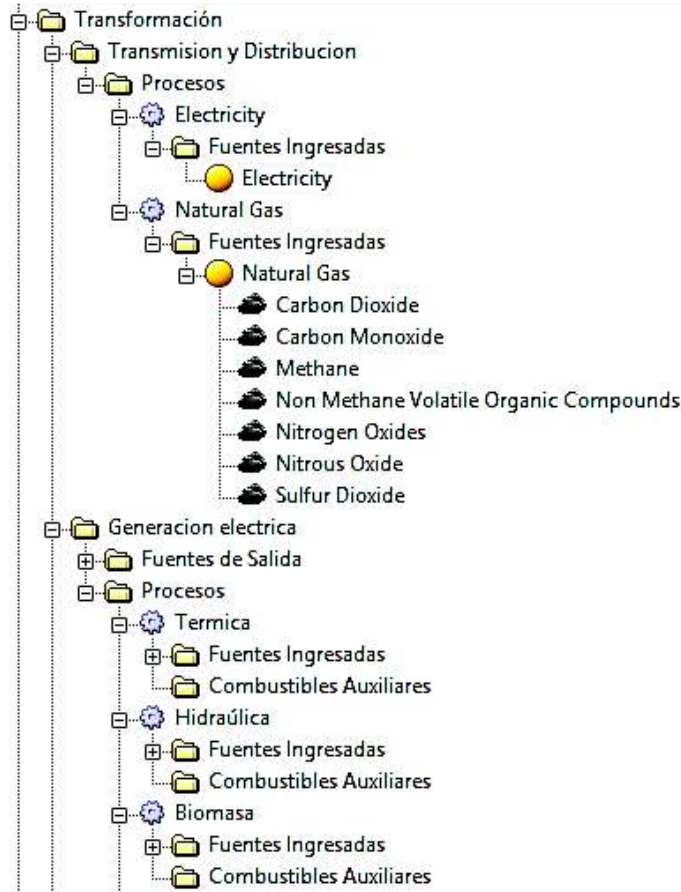


Figura 51. Generación eléctrica – productos combustibles, procesos y desechos
Fuente: LEAP®

La capacidad de producción eléctrica total se divide en la producción por generación por turbinas de combustibles fósiles y la hidroeléctrica y los valores que aportan cada uno se muestran en la Tabla 60.

Tabla 60. Capacidad de producción eléctrica

Descripción	Capacidad (KBEP)	Nota
Generadores Combustibles fósiles	8.060,00	(1)
Hidroeléctrica	7.440,00	(1)

(1) Fuente: (MICSE, 2015)
Fuente: El autor

En el caso de la generación eléctrica con turbinas de combustibles fósiles, el principal combustible definido es el fueloil, el cual tiene una cantidad de subcomponentes contaminantes como se ilustra en el Figura 52.

Branch	Effect	Expression	Units	Per	Method
Carbon Monoxide	Carbon Monoxide (CO)	15	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Methane	Methane (CH4)	3	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Non Methane Volatil	Non Methane Volatile Organ S		Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Nitrogen Oxides: NOx	Nitrogen Oxides (NOx)	200	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Nitrous Oxide	Nitrous Oxide (N2O)	0.6	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Sulfur Dioxide	Sulfur Dioxide (SO2)	SulfurContent*(1-SulfurRetent	Kilogramme	Kilogramme	Per unit energy consumed
Carbon Dioxide Non	Carbon Dioxide (CO2)	20 * FractionOxidized * (CO2/Metric Tonne		Terajoule	Per unit energy consumed

Figura 52. Contaminantes producto de la combustión del fueloil
Fuente: El autor

El siguiente modo de transformación desarrolla los procesos de producción del carbón a partir en todos los casos de la materia prima de madera. Principalmente se definen dos procesos, el primero el método tradicional (*traditional earth mounds*), apilando montículos semi esféricos de madera para su incineración y el segundo método con hornos de ladrillos, llamados colmenas (*brick beehives*), el despliegue del proceso de transformación se ilustra en el Figura 53.

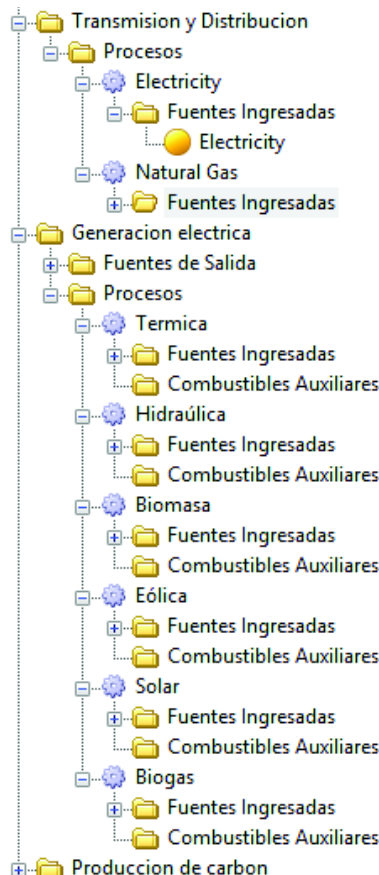


Figura 53. Producción de carbón - productos combustibles, procesos y desechos
Fuente: LEAP®

El proceso de generación de carbón tiene como sub productos contaminantes al quemar la madera, la composición y cantidades de contaminantes que se definen en el Figura 54.

Branch	Effect	Expression	Units	Per	Method
Carbon Monoxide	Carbon Monoxide (CO)	1000	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Methane	Methane (CH4)	30	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Non Methane Volatil	Non Methane Volatile Organ	50	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Nitrogen Oxides	Nitrogen Oxides (NOx)	100	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Nitrous Oxide	Nitrous Oxide (N2O)	4	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Sulfur Dioxide	Sulfur Dioxide (SO2)	SulfurContent*(1-SulfurRetent	Kilogramme	Kilogramme	Per unit energy consumed
Carbon Dioxide Biog	Carbon Dioxide Biogenic (CC29.9 * FractionOxidized * (CO2 Metric Tonne			Terajoule	Per unit energy consumed

Figura 54. Contaminantes producto de la combustión de la madera
Fuente: El autor

Por último, se define el proceso de transformación del petróleo a través de la refinación para la creación de productos de valor agregado como gasolinas, diésel, fueloil, gas licuado, lubricantes, entre otros. (Ver Figura 55).

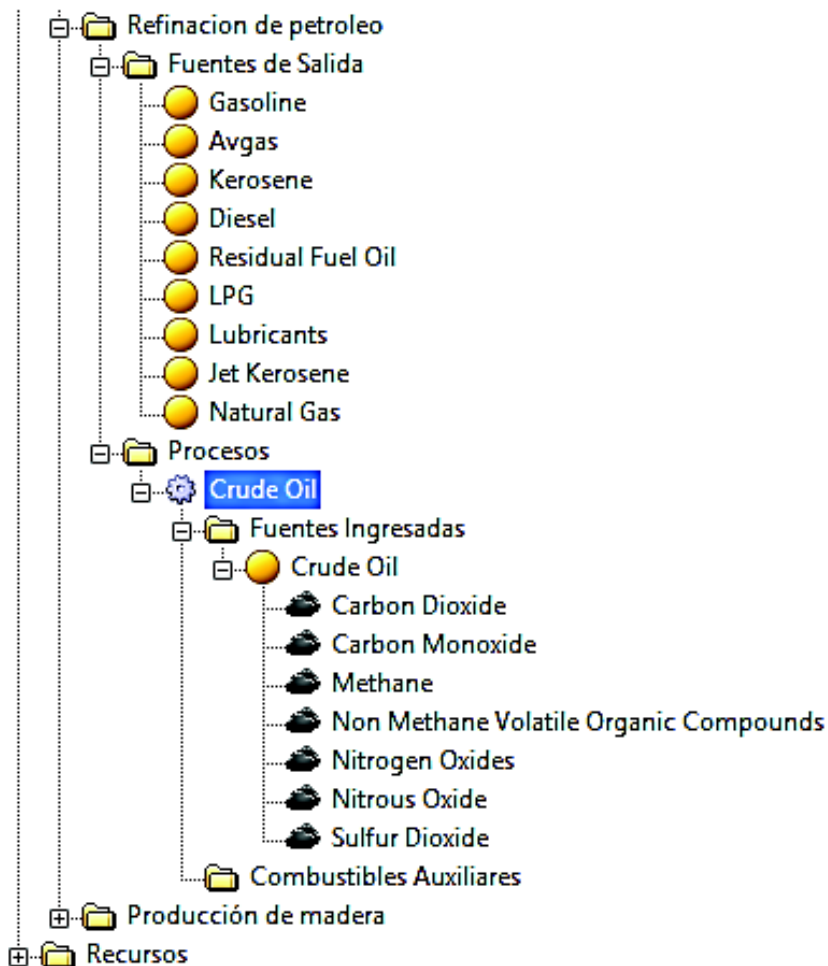


Figura 55. Refinación de petróleo – productos combustibles, procesos y desechos
Fuente: LEAP ®

En esta etapa se define la eficiencia del proceso y la capacidad instalada de plantas de refinación en el país, estos datos pueden ser observados en las tablas 61 y 62 respectivamente.

Tabla 61. Definición de eficiencia del proceso de refinación de petróleo

Descripción	Eficiencia (%)	Nota
Eficiencia Refinación	75	(1)

Notas:

(1) (Fuente: (INEC, 2015))
Elaborado por. El Autor

Tabla 62. Definición de capacidad anual del proceso de refinación de petróleo

Descripción	Capacidad (MTon-BEP/año)	Nota
Capacidad de Refinación	6,6	(1)

Notas:

(1) (Fuente: (EP PetroEcuador, 2015))
Elaborado por. El Autor

Finalmente es importante la definición de la composición contaminante del petróleo y la misma se refleja en el Figura 56.

Branch	Effect	Expression	Units	Per	Method
Carbon Dioxide	Carbon Dioxide (CO2)	20 * FractionOxidized * (CO2/(Metric Tonne	Terajoule	Per unit energy consumed	Per unit energy consumed
Carbon Monoxide	Carbon Monoxide (CO)	15	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Methane	Methane (CH4)	3	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Non Methane Volatil	Non Methane Volatile Organ 5		Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Nitrogen Oxides	Nitrogen Oxides (NOx)	200	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Nitrous Oxide	Nitrous Oxide (N2O)	0.6	Kilogramme	Terajoule	Per unit energy consumed
Sulfur Dioxide	Sulfur Dioxide (SO2)	SulfurContent*(1-SulfurRetent	Kilogramme	Kilogramme	Per unit energy consumed

Figura 56. Contaminantes producto de la combustión del petróleo
Fuente: El autor

Valores de reservas y disponibilidad de recursos energéticos primarios y secundarios

La definición de recursos en el LEAP® (Figura 58), se utiliza para reflejar la producción de recursos propios y la importación y exportación de combustibles secundarios.

Las pantallas de análisis de recursos en LEAP® se utilizan para introducir datos sobre la disponibilidad de recursos primarios, incluidos los recursos renovables fósiles, así como información sobre los costos de producción, importación y exportación de recursos primarios y secundarios.

Las ramas de los árboles de recursos siempre se subdividen en dos categorías: recursos primarios y combustibles secundarios, y las ramas inmediatamente debajo de estas dos categorías son automáticamente generadas y actualizadas por LEAP® para reflejar los combustibles individuales consumidos y producidos en su área. Al agregar o eliminar combustibles de sus análisis de Demanda y Transformación, la lista de combustibles se actualiza automáticamente.

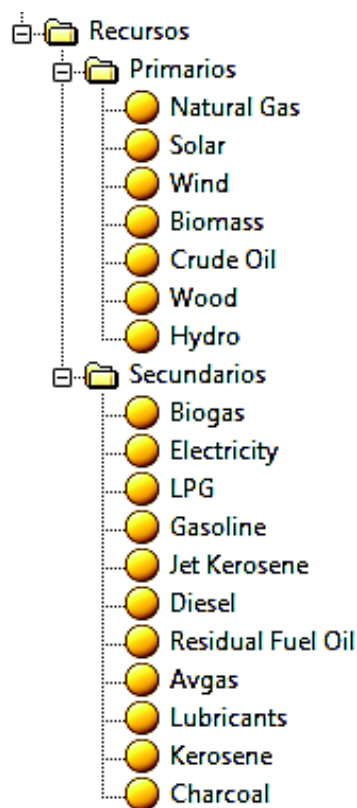


Figura 57. Recursos – fuentes primarias y secundarias
Fuente: LEAP®

Anexo C - Matriz de selección de software de simulación

Para determinar la opción del modelo a utilizar en el análisis de la matriz energética de Ecuador, se optó por tener como criterio determinante que cumpla con las siguientes premisas:

- Modelo Integral Demanda Oferta, medio ambiente, tipo bottom up.
- Requerimientos mínimos de información.
- Transparente, Flexible y amigable con el usuario.
- Plataforma comprobada en estudios de envergadura a nivel mundial, reciente uso en entidades Gubernamentales (Ministerios - otros).
- Garantías para el uso académico e investigativo.
- Uso Internacional reconocido.
- Bajo Costo, respaldo y soporte técnico.

Análisis

Se analizaron tres herramientas, como se muestra en la Tabla 63.

Tabla 63. Valoración de software de simulación energética

Atributo	MARKAL®	ENPEP®	LEAP®
¿Modelo tipo Bottom Up?	SI (100)	SI (100)	SI (100)
¿Requerimientos iniciales de información mínimos?	Elevados, requiere data historia (0)	Elevados, requiere data historia (0)	Bajos, 1 año de data inicial (100)
¿Plataforma comprobada en estudios de envergadura a nivel mundial?	SI (100)	SI (100)	SI (100)
¿Garantías para el uso académico e investigativo?	SI (100)	SI (100)	SI (100)
¿Bajo Costo, respaldo y soporte técnico?	Pago por uso (0)	Pago por uso (0)	Uso académico Gratuito (100)
TOTAL	300	300	500

(Fuente: El autor)

Resultados de ponderación cuantitativa

En base al análisis precedente, se escogió al LEAP®, como el software a utilizar en la presente tesis.

Tabla 64. Tabla de ponderación

Atributo	Posibilidades	Ponderación
¿Modelo tipo Bottom Up?	SI	100
	NO	0
¿Requerimientos iniciales de información mínimos?	Elevados	0
	Medios	50
	Bajos	100
¿Plataforma comprobada en estudios de envergadura a nivel mundial?	SI	100
	NO	0
¿Garantías para el uso académico e investigativo?	SI	100
	NO	0
¿Bajo Costo, respaldo y soporte técnico?	Pago	0
	Gratuito	100

(Fuente: El autor)

- LEAP: es un modelo Integral del tipo *bottom up*.
- LEAP: solo requiere de un año de información base, el resto se proyecta en base a modelos matemáticos que están incluidos como módulos del programa.
- LEAP: el árbol es construido dependiendo de la cantidad y calidad de información que tenga el usuario y no es solicitada en estructura rígida.
- LEAP: es un programa de amplio uso internacional por entes e investigadores reconocidos en el área académica y energética.
- LEAP: para usos académicos y proyectos de investigación es de uso gratuito.
- LEAP: se ha usado en ciento cincuenta (150) países del mundo para la formulación de planes energéticos y prospectiva energética, además de servir de soporte para las comunicaciones sobre cambio climático.
- LEAP: cuenta con el apoyo de la comunidad de usuarios de orden internacional como la “*Energy Community*” y el SEI (Sociedad de Investigación Energética), que sirven de soporte y actualización continua del software. En Latinoamérica el soporte y asesoría lo tiene el “Instituto de Economía Energética IDEE de Argentina”.

Anexo D - Metodología de planificación de planes energéticos de OLADE

A continuación, se presenta en la Figura 58, la estructura metodológica que rige la presente investigación.

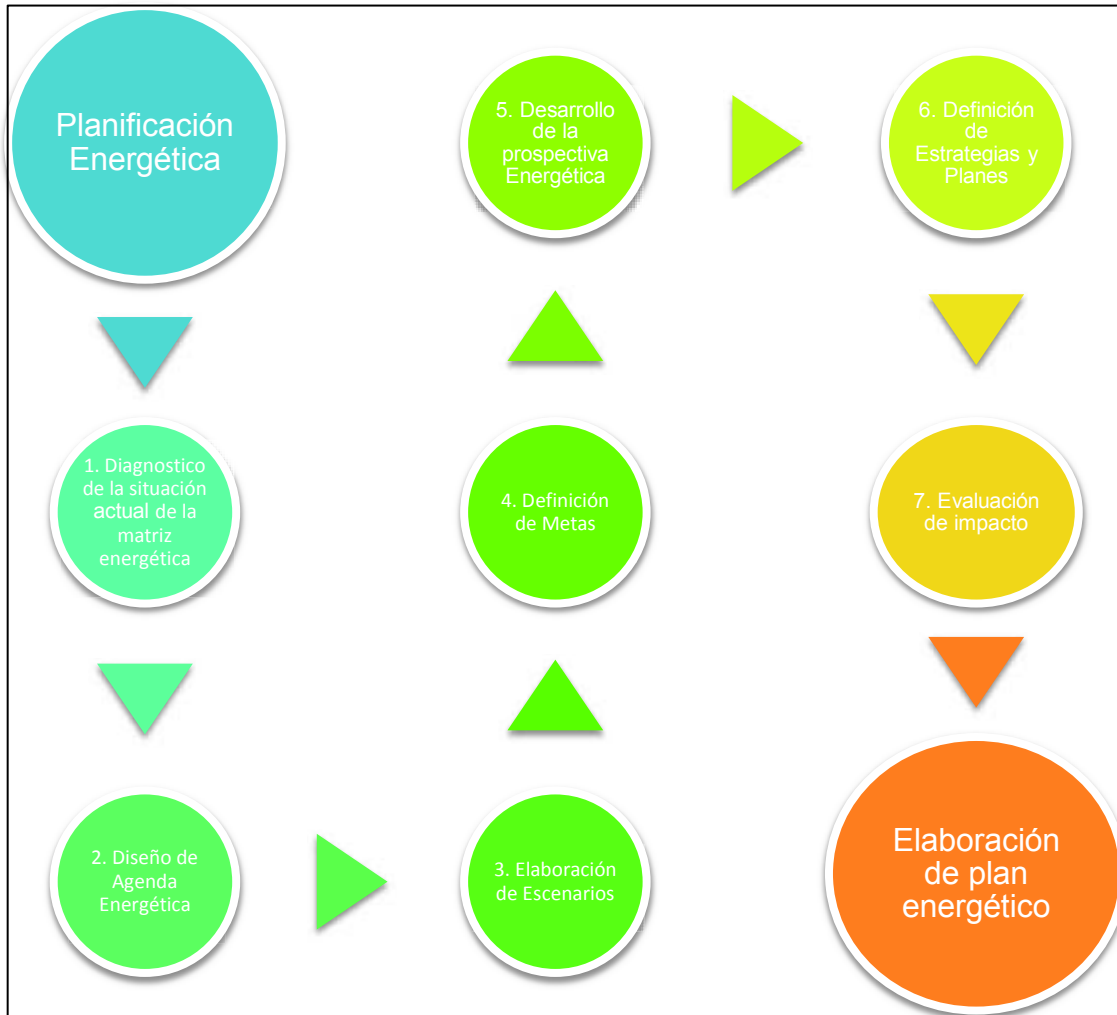


Figura 58. Metodología de planificación de OLADE

Fuente: El Autor

Según (Fundación Ciudadanía y Valores, 2010), la energía tiene dimensiones técnicas, económicas, sociales y políticas, con múltiples facetas en el contexto internacional, ambiental, diplomático, comercial, financiero, de desarrollo y estratégico. Ningún país puede ignorarlas, so pena de pagar un elevado precio.

Las inversiones necesarias para garantizar un abastecimiento de energía seguro y de calidad y para que los costos de ese abastecimiento no sobrepasen límites razonables, son muy cuantiosas y de larga vida útil; por esta razón, en este sector es mucho más importante que en otros no errar en la visión y en las decisiones políticas y empresariales conducentes

a la asignación de recursos. Dichas decisiones que se tomen en materia de energía van a condicionar competitividad, dependencia estratégica, relaciones exteriores, y desarrollo tecnológico durante décadas, no sólo en lo relacionado directamente con ella, sino en sus impactos en otros sectores, igualmente importantes, de la economía: proveedores de equipos y componentes, construcción, ingeniería y servicios, sector financiero y tecnología. De allí la importancia de realizar estudios adecuados de planificación para que la inversión a realizar sea adecuada para satisfacer tanto las necesidades presentes como la proyección a futuro.

La OLADE (OLADE, 2016) con el objeto de propiciar el fortalecimiento y el desarrollo en aspectos de planificación energética en los organismos ministeriales del sector energético de los países miembros, tomando en cuenta la realidad actual del sector energético, sus necesidades de desarrollo económico como aquellos referentes a cambios institucionales, el comportamiento impredecible de los precios de los combustibles, la necesidad de cumplimiento de compromisos de carácter ambiental y ecológico, a fin de que sirva para orientar a los responsables de desarrollar la política energética y planes en el largo plazo, para contribuir al desarrollo sostenible en la región. Se desarrolla el Manual de Planificación de la OLADE que sigue los siguientes pasos:

Elaboración del diagnóstico energético

Es de vital importancia realizar al momento del inicio de la planificación un análisis integral de la situación energética del. Este paso está relacionado al desarrollo minucioso de la matriz energética del país y sus respectivos balances, así como detalles de las tecnologías empleadas, los tipos de organizaciones institucionales, indicadores económico-energéticos, impactos económicos, sociales y ambientales.

Diseño de agenda energética

Luego del diagnóstico inicial que permitirá determinar las fortalezas y debilidades del sistema energético nacional, es necesario determinar y priorizar los objetivos que busquen dar solución a los problemas identificados. Esta agenda y los objetivos estratégicos que la conforman deberán estar alineados a aspectos básicos fundamentales como la sustentabilidad social, política, económica, fiscal y ambiental.

Elaboración de escenarios

Esta fase busca vislumbrar posibles aspectos de cambio a la matriz que se tiene a la fecha, tomando como base la información de futuros proyectos, introducción de nuevos actores en la agenda energética, cumplimiento de cuotas, compromisos ambientales. En base a esta información se proponen posibles escenarios futuros para posteriormente hacer el análisis prospectivo y determinar sus respectivos comportamientos.

Definición de metas de corto, mediano y largo plazo

Esta fase es para definir metas que sean medibles y temporales que permitan la evaluación del avance e impacto del logro de los objetivos estratégicos planteados en la planificación, así como lograr detectar eventuales desvíos y así tomar acciones correctivas.

Desarrollo de la prospectiva energética

Se refiere a la aplicación de modelos de simulación de escenarios futuros. Básicamente, busca determinar las prioridades gubernamentales de mayor impacto que requieren de atención especial en los planes y políticas energéticas de un país.

Definición de estrategias y planes de acción de mediano y largo plazo

Resultado del análisis prospectivo se deben definir las acciones para a solución o mejora de situaciones derivadas de la matriz energética de un país. En esta fase se hacen análisis profundos de las consecuencias de estas acciones, en ámbitos económicos, de recursos y tiempos, así como la definición de estrategias para lograr la optimización del uso de recursos entre otros.

Evaluación de impactos

En esta fase se realizan la evaluación y control mediante indicadores de desempeño que permiten medir cuantitativa y cualitativamente la consecución de las metas. El objetivo es el seguimiento a fin tomar acciones correctivas en caso de ser necesario a tiempo.

Elaboración del plan energético nacional

Finalmente luego de tener el estudio completo de los escenarios, haber logrado las metas y objetivos de forma satisfactoria, se procede a formular el plan energético del país con proyección futura, observándose una disminución considerable del consumo de combustibles de origen fósil, para fortalecer el plan energético nacional.