

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador
Departamento de Desarrollo, Ambiente y Territorio
Convocatoria 2016-2018

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

Diversificación de la matriz energética en el Ecuador: indicadores energéticos, socio-
económicos y ambientales

Jorge Leonardo Huera Aldás

Asesora: María Cristina Vallejo
Lectores: Pedro Alarcón y Néstor Valdospinos

Quito, mayo de 2019

Dedicatoria

A mi padre y hermano, quienes guían mi camino desde el cielo.

A mi madre, mi inspiración y fortaleza. Su amor, ejemplo y consejos me impulsan a luchar cada día. Gracias a ella, creo que el mundo es todavía hermoso.

A mis hermanos, por su ejemplo de vida.

A mis sobrinos

Tabla de contenidos

Resumen	X
Agradecimientos	XI
Introducción	1
Capítulo 1	7
Marco teórico	7
Transición energética	7
1.1. Pilares para la diversificación de la matriz energética	13
1.2. Desafíos de la implementación de las energías renovables y medidas de eficiencia... 14	14
energética.....	14
1.2.1. Limitaciones sociales, económicas y ambientales	15
1.3. Transición de sistemas energéticos.....	17
1.3.1. Fases de transición	21
1.3.2. Niveles de transición.....	23
1.3.3. Dimensiones de transición	25
1.3.4. Marco integrado para la transición y gobernabilidad	27
Capítulo 2	30
Estado actual del sector energético ecuatoriano.....	30
2.1. Matriz energética del Ecuador en el año 2016	30
2.1.1. Consumo final de energía	33
2.1.2. Generación eléctrica.....	36
2.1.3. Oferta interna total de energía.....	37
2.2. Planes de gobierno para la diversificación de la matriz energética ecuatoriana	40
2.2.1. Desarrollo de las fuentes de energía renovables no convencionales (ERNC)	42
2.2.2. Potenciales energéticos	43
2.2.3. Plan nacional de eficiencia energética Ecuador 2016-2035	45
Capítulo 3	47
Metodología	47
3.1. Prospectiva energética	47
3.2. Modelo de simulación y análisis de la matriz energética (SAME)	49
3.3. Presentación de los escenarios energéticos	51
3.3.1. Escenario tendencial “Business as usual” (BAU).....	52
3.3.2. Escenario de políticas actuales (EPA)	52

3.3.3. Escenario de desarrollo energético sostenible (DES)	52
3.4. Descripción de indicadores energéticos, socio-económicos y ambientales	54
Capítulo 4	56
Análisis de resultados	56
4.1. Construcción del escenario tendencial: línea base de la prospectiva (BAU)	56
4.1.1. Proyección del consumo final de energía	56
4.1.2. Proyección de la oferta interna total de energía	60
4.2. Construcción del escenario de políticas actuales (EPA)	62
4.2.1. Orden de prioridad de despacho en la generación eléctrica	62
4.2.2. Proyección de la generación eléctrica	63
4.2.3. Proyección de la oferta interna total de energía	65
4.3. Construcción del escenario de desarrollo energético sostenible (DES)	67
4.3.1. Proyección del consumo final de energía	67
4.3.2. Proyección de la generación eléctrica	71
4.3.3. Proyección de la oferta interna total de energía	73
4.4. Análisis comparativo del escenario DES respecto del escenario BAU y EPA	75
4.4.1. Análisis comparativo de las matrices de consumo final de energía	75
4.4.2. Análisis comparativo de las matrices de generación eléctrica	76
4.4.3. Análisis comparativo de las matrices de oferta total de energía	79
4.5. Discusión de indicadores	81
4.5.1. Energéticos	81
4.5.2. Socio-económicos	88
4.5.3. Ambientales	93
Conclusiones	97
Simbología	103
Lista de referencias	104

Ilustraciones

Gráficos

Gráfico 1. Oferta total de energía por fuentes del Ecuador (2016)	3
Gráfico 2. Demanda de energía por fuentes del Ecuador (2016), sector transporte	4
Gráfico 1.1. Fases de transición	22
Gráfico 1.2. Fases, niveles y dimensiones de transición	28
Gráfico 1.3. Tiempo, niveles y dimensiones de transición	28
Gráfico 1.4. Interrelaciones entre sectores	29
Gráfico 2.1. Estructura del consumo energético por fuentes y sectores del Ecuador (2016)...	34
Gráfico 2.2. Producción de energía primaria para el Ecuador (2016), en kbep	37
Gráfico 2.3. Medidas de eficiencia energética del Ecuador (2016-2035)	46
Gráfico 3.1. Prospectiva energética.....	47
Gráfico 3.2. Descripción general del modelo SAME.....	50
Gráfico 3.3. Premisas del escenario de desarrollo energético sostenible.....	52
Gráfico 3.4. Prospectiva del Sector Energético del Ecuador	53
Gráfico 4.1. Consumo final proyectado por fuentes del Ecuador, escenario BAU.....	57
Gráfico 4.2. Consumo final proyectado por sectores del Ecuador, escenario BAU	58
Gráfico 4.3. Proyección de generación eléctrica por fuente del Ecuador, escenario BAU.....	60
Gráfico 4.4. Matriz de generación eléctrica por fuente del Ecuador (2030), escenario BAU .	60
Gráfico 4.5. Proyección de la oferta total de energía por fuente del Ecuador,.....	61
escenario BAU.	61
Gráfico 4.6. Proyección de la oferta total de energía del Ecuador (2030), escenario BAU.....	62
Gráfico 4.7. Proyección de generación eléctrica por fuente del Ecuador, escenario EPA.....	64
Gráfico 4.8. Matriz de generación eléctrica por fuente del Ecuador (2030), escenario EPA ..	65
Gráfico 4.9. Proyección de la oferta total de energía por fuente del Ecuador, escenario EPA	66
Gráfico 4.10. Proyección de la oferta total de energía por fuente del	66
(2030), escenario EPA.....	66
Gráfico 4.11. Consumo final proyectado por fuentes del Ecuador, escenario DES	70
Gráfico 4.12. Consumo final proyectado por sectores del Ecuador, escenario DES	70
Gráfico 4.13. Matriz de generación eléctrica por fuente del Ecuador (2030), escenario DES	72
Gráfico 4.14. Proyección de generación eléctrica por fuente del Ecuador, escenario DES.....	73

Gráfico 4.15. Proyección de la oferta total de energía por fuente del Ecuador.....	74
(2030), escenario DES.....	74
Gráfico 4.16. Proyección de la oferta total de energía por fuente del Ecuador,.....	74
escenario DES	74
Gráfico 4.17. Comparación del consumo final de energía del Ecuador (2030),.....	75
escenario DES vs BAU y EPA.....	75
Gráfico 4.18. Consumo final de energía acumulada del Ecuador, diferencias entre los tres... 76	76
escenarios	76
Gráfico 4.19. Proyección de generación eléctrica del Ecuador (2030), escenario.....	77
DES vs BAU y EPA.....	77
Gráfico 4.20. Generación eléctrica acumulada del Ecuador, diferencias entre escenarios	78
Gráfico 4.21. Proyección de la generación total de electricidad del Ecuador,.....	79
escenario DES vs BAU y EPA.....	79
Gráfico 4.22. Proyección de la oferta interna total de energía del Ecuador.....	80
(2030), escenario DES vs BAU y EPA	80
Gráfico 4.23. Oferta total acumulada de energía del Ecuador, diferencias entre escenarios ...	80
Gráfico 4.24. Proyección del consumo final de energía del Ecuador, escenario.....	81
DES vs BAU y EPA.....	81
Gráfico 4.25. Proyección de la oferta interna total de energía del Ecuador,.....	82
escenario DES vs BAU y EPA.....	82
Gráfico 4.26. Ahorro en el consumo final de energía acumulado en el período.....	83
de proyección por sector del Ecuador, escenario DES.....	83
Gráfico 4.27. Demanda de energía del sector transporte por fuentes del Ecuador (2030),.....	84
escenario DES	84
Gráfico 4.28. Proyección del consumo energético total per cápita del Ecuador,.....	85
escenarios BAU, EPA y DES.....	85
Gráfico 4.29. Reservas remanentes y producción acumulada de petróleo del.....	87
Ecuador hasta el año 2030, escenario BAU, EPA y DES	87
Gráfico 4.30. Proyección de la intensidad energética final del Ecuador, escenario.....	88
BAU, EPA y DES	88
Gráfico 4.31. Proyección del costo nivelado de generación eléctrica del Ecuador,.....	90
escenario BAU, EPA y DES	90
Gráfico 4.32. Proyección del índice de renovabilidad de la matriz energética del Ecuador,...	91
escenario BAU, EPA y DES	91

Gráfico 4.33. Proyección del índice de renovabilidad de la generación eléctrica.....	92
del Ecuador, escenario BAU, EPA y DES	92
Gráfico 4.34. Proyección del índice de autarquía energética del Ecuador, escenario BAU,...	93
EPA y DES	93
Gráfico 4.35. Proyección de las emisiones totales de CO ₂ de la matriz energética.....	94
del Ecuador, escenario BAU, EPA y DES	94
Gráfico 4.36. Emisiones totales de CO ₂ acumuladas de la matriz energética del Ecuador,...	95
diferencias entre escenarios.....	95
Gráfico 4.37. Proyección de los factores de emisión de la matriz energética del Ecuador,...	95
escenario BAU, EPA y DES	95
Gráfico 4.38. Proyección de las emisiones de CO ₂ per cápita del Ecuador,.....	96
escenario BAU, EPA y DES	96

.....

Tablas

Tabla 1.1. Niveles de transición	25
Tabla 2.1. Balance energético	31
Tabla 2.2. Consumo final y eléctrico per cápita de algunos países de ALyC (2016)	35
Tabla 2.3. Estructura de la capacidad instalada por fuentes del Ecuador (2016).....	36
Tabla 2.4. Estructura de la generación eléctrica por fuentes del Ecuador (2016).....	36
Tabla 2.5. Oferta total de energía de algunos países de ALyC (2016)	38
Tabla 2.6. Balance energético del Ecuador (2016)	39
Tabla 2.7. Características técnico económicas de los proyectos emblemáticos del Ecuador ..	41
Tabla 2.8. Precios preferenciales de las energías renovables no convencionales en Ecuador.	43
Tabla 2.9. Potencial energético del Ecuador (2016)	44
Tabla 4.1. Tasas de crecimiento promedio anual del consumo por fuente del Ecuador (%) ...	57
Tabla 4.2. Consumo final proyectado por sectores, grupo energético y fuentes.....	59
del Ecuador (2030), escenario BAU	59
Tabla 4.3. Orden de la prioridad de despacho de las centrales eléctricas del Ecuador,.....	63
escenario EPA y DES.....	63
Tabla 4.4. Cronograma de instalación/retiro del Ecuador (MW), escenario EPA.....	64
Tabla 4.5. Medidas de eficiencia energética aplicadas al Ecuador, escenario DES	68

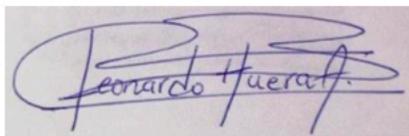
Tabla 4.6. Valores asignados a las eficiencias relativas en los sectores de consumo.....	69
final del Ecuador	69
Tabla 4.7. Consumo final proyectado por sectores, grupo energético y fuentes del.....	71
Ecuador (2030), escenario DES	71
Tabla 4.8. Cronograma de instalación/retiro del Ecuador (MW), escenario DES	72
Tabla 4.9. Consumo del sector transporte del Ecuador (2030), tecnología convencional.....	85
y eficiente, escenario DES (kbep)	85
Tabla 4.10. Consumo energético y eléctrico per cápita del Ecuador, escenario BAU,.....	86
EPA y DES.....	86
Tabla 4.11. Costos fijos, variables e inversión de generación eléctrica.....	89
Tabla 4.12. Participación de las ERNC en la oferta total de energía del Ecuador,.....	93
escenario BAU, EPA y DES	93

Declaración de cesión de derecho de publicación de la tesis

Yo, Jorge Leonardo Huera Aldás, autor de la tesis titulada “Diversificación de la matriz energética en el Ecuador: indicadores energéticos, socio-económicos y ambientales” declaro que la obra es de mi exclusiva autoría, que la he elaborado para obtener el título de maestría de Investigación en Economía del Desarrollo concedido por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador.

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

Quito, mayo de 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Leonardo Huera Aldás', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat cursive.

Jorge Leonardo Huera Aldás

Resumen

El propósito de esta investigación es realizar una prospectiva energética para el Ecuador hasta el año 2030, a fin de identificar condiciones que permitan diversificar la matriz energética en el país. El balance energético del año 2016 es la base de la proyección. Se considera tres escenarios energéticos: tendencial, de políticas actuales y de desarrollo energético sostenible.

Para la construcción del escenario tendencial se considera una evolución progresiva del sector energético, y se realiza la simulación de acuerdo a los flujos energéticos de oferta y demanda históricos. El escenario de políticas actuales considera las mismas premisas del escenario tendencial para la proyección de la demanda. Para la proyección de la oferta energética toma en cuenta el *Plan Maestro de Electricidad 2016-2025*. Finalmente, el escenario de desarrollo energético considera la penetración acelerada de las energías renovables no convencionales para la proyección de la oferta y aplica medidas de eficiencia energética a los sectores de mayor consumo: transporte, industrial, residencial y comercial para proyectar la demanda.

El argumento central que se analiza es que las energías renovables no convencionales, en específico la energía eólica, solar y geotérmica, con alto potencial en el Ecuador permiten encontrar una matriz energética sostenible con una menor dependencia del petróleo y el agua a largo plazo y con ello significativos beneficios sociales, económicos y ambientales para el país. La herramienta metodológica que se usó para la prospectiva energética es el modelo de simulación y análisis de la matriz energética desarrollada por la *Organización Latinoamericana de Energía*. Se realizó un análisis comparativo de los escenarios propuestos, en función de indicadores energéticos, socio-económicos y ambientales.

Los resultados confirman que para el año 2030, el escenario de desarrollo energético sostenible logra una matriz de oferta total diversificada, gracias al aporte de las energías solar, eólica y geotérmica. La matriz de generación eléctrica para dicho año es 100 % renovable y la matriz de oferta total alcanza un 45 % de renovabilidad. Además, existe una disminución del consumo final en los sectores de mayor demanda del Ecuador, sector transporte y residencial, debido a las medidas de eficiencia energética implementadas.

Palabras clave: diversificación, Ecuador, eficiencia energética, energías renovables no convencionales, transición

Agradecimientos

A Dios, a la Virgen María, a mi madre y a mis hermanos

A mi tutora María Cristina Vallejo y a los lectores Néstor Valdospinos y Pedro Alarcón

A mi gran amigo Jhonathan y Fabio García de OLADE

Introducción

La energía desempeña un rol central en el desarrollo económico, calidad de vida y sustentabilidad ambiental de un país. La fuente principal de energía en el Ecuador es el petróleo. La abundancia de este recurso no renovable ha permitido posicionar al país como un exportador neto de energía y al petróleo como el producto de exportación más destacado. El descubrimiento de nuevos yacimientos petrolíferos en el país generó una peligrosa dependencia de una sola fuente de energía y con ello un ‘espejismo económico’, desde el inicio del ‘boom petrolero’, entre 1972 y 1982 (Villavicencio 2011). Por esta razón, la diversificación de la matriz energética en el Ecuador no ha sido centro de interés en los gobiernos pasados.

La matriz energética ecuatoriana alcanza una escasa diversificación de fuentes, con predominio en el uso de combustibles fósiles como fuente principal de energía y la hidroenergía como principal fuente de electricidad. “Las inversiones en proyectos que permitiesen diversificar la matriz energética y disminuir la dependencia del ‘oro negro’ han sido mínimas” (Guamán 2017, 2). La capacidad eléctrica instalada, hasta el año 2006, se abastecía de la hidroenergía en un 45,5 % y el Ecuador “tenía que importar derivados del petróleo para cubrir la demanda con generación térmica” (Villavicencio 2011, 288). En la década de los 2000, “el crecimiento de la demanda energética se dio a un ritmo promedio de 5,5 % anual” (MEER 2014, 135). El suministro energético de este período se generó a partir de una reducida expansión de la capacidad instalada y por las importaciones de electricidad de países vecinos como Colombia y Perú (MEER 2014, 135).

En la actualidad, el país mantiene la dependencia del petróleo y la hidroenergía. Ecuador necesita de un 80 % de combustibles fósiles para abastecer su demanda energética, siendo el diésel, la gasolina, las naftas y el gas licuado de petróleo (GLP) los productos más requeridos en el sector transporte, industrial y residencial. La hidroenergía es la única fuente renovable desarrollada en el país, con una inversión que supera los 5000 millones de dólares, dinero utilizado en la construcción de ocho centrales hidroeléctricas, entre las que resalta Coca Codo Sinclair con una potencia nominal de 1500 MW y una energía anual estimada de 8734 GWh. Las energías renovables no convencionales (ERNC), en específico la eólica, la geotérmica y la solar, a pesar de su alto potencial y menor nivel de contaminación, han sido desarrolladas en una mínima cantidad.

Para el año 2016, las ERNC alcanzaron al 1 % de aporte en generación eléctrica. Por el contrario, la hidroenergía representó cerca del 60 %, lo que permitió eliminar la importación de electricidad de países como Colombia y Perú. Este aporte fue influyente en el sector residencial, que representa el 14 % en la demanda de la energía nacional. Sin embargo, en sectores como el transporte (51 %) e industrial (17 %) donde el consumo energético es mayor, la influencia de la hidroenergía fue reducida. Además, el aporte de las ERNC en la matriz de oferta total es de apenas el 0,11 % y la hidroenergía contribuye con el 10,84 % (MICSE 2017).

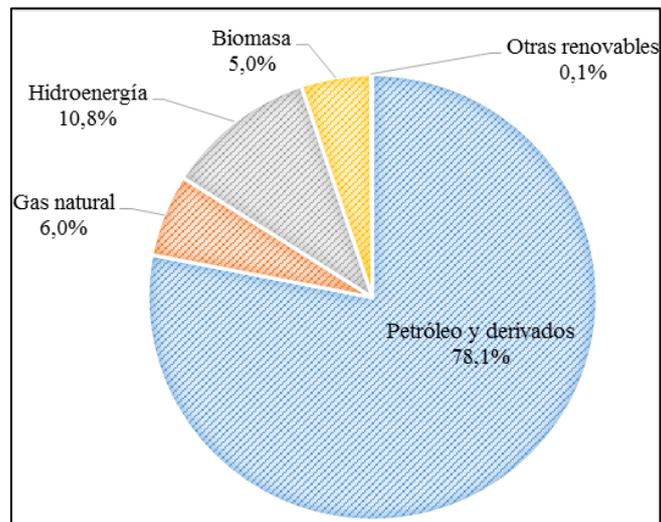
Para pasar de un recurso no renovable como fuente de energía a una energía más amigable al ecosistema, se requieren de mucho tiempo y de disponibilidad de recursos. La estructura de la matriz energética del Ecuador ha variado, pero, en general, las tres fuentes dominantes de energía son: petróleo, hidroelectricidad y biomasa. La utilización de estas tres fuentes se ha mantenido, con pequeñas variaciones en sus porcentajes desde el año 1972, pero con la misma influencia en conjunto. Por esta razón, “resulta indispensable adoptar estrategias que permitan una transición en el sistema de producción nacional” (Guamán 2017, 2), que incentiven la diversificación de la matriz energética mediante el aprovechamiento de todos los recursos naturales que tiene el país.

La Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, en el *Plan Nacional del Buen Vivir 2013-2017*, entre sus objetivos destaca el número once, “que hace referencia a asegurar la soberanía y eficiencia de los sectores estratégicos para la transformación industrial y tecnológica” (SENPLADES 2013, 83). Con la finalidad de cumplir este objetivo, la *SENPLADES* asume como primordial la diversificación de la matriz productiva del país, “mediante un desarrollo industrial dinámico, donde la energía, como insumo para todas las actividades productivas, es el factor principal” (Guamán 2017, 2). Además, enfatiza en que la energía debe provenir de fuentes renovables y no del petróleo, pues este recurso no renovable provocaría continuar con la dependencia de un solo recurso.

Acorde al Balance Energético Nacional 2017, informe de trabajo que considera el año 2016 como año base; el petróleo representa el 78,1 % de la oferta total, el gas equivale al 6 % y la hidroenergía alcanza un 10,8 % (MICSE 2017). La planificación establecida por los ministerios de *Sectores Estratégicos, Electricidad y Energías Renovables* desde el año 2008 tenían como objetivo común “revertir estas cifras a favor del uso de energía desde fuentes

renovables, mediante la construcción de centrales de generación hidroeléctrica y múltiples proyectos de eficiencia energética” (Sánchez 2015,135), no obstante, el sector energético ecuatoriano no ha alcanzado avances significativos los últimos años (ver gráfico 0.1).

Gráfico 1. Oferta total de energía por fuentes del Ecuador (2016)

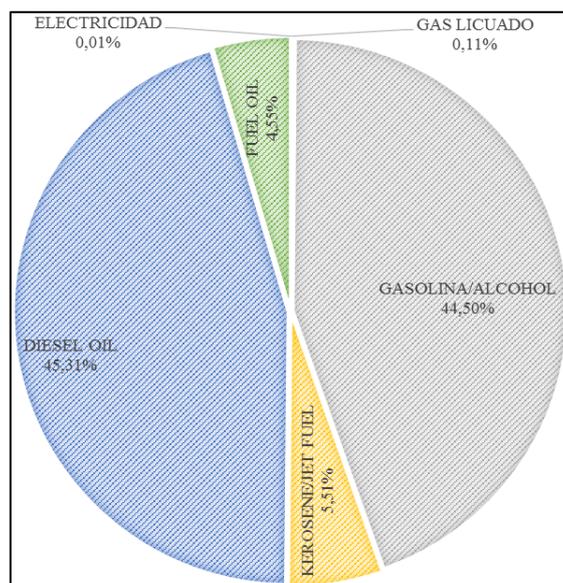


Fuente: MICSE 2017

En el Ecuador, la energía proveniente del petróleo y sus derivados no compite con la energía proveniente de fuentes renovables, ya que el petróleo y sus derivados es la fuente dominante de suministro de energía en el sector del transporte y la energía hidráulica en el sector residencial. El país debe diversificar la oferta de energía en el sector de transporte (ver figura 0.2.) y no solo depender del petróleo y sus derivados. Una alternativa al petróleo como fuente de energía, cuyos precios son altamente variables, es buscar una energía más amigable con el ambiente (que mitigue las emisiones de gases de efecto invernadero), más eficiente y que pueda competir con los precios del petróleo. En este contexto, Guamán (2017) afirma que:

El sector transporte es el más ineficiente de los sectores económicos (incluyendo residencial, comercial e industrial), puesto que es el que más energía consume, más emisiones de GEI produce y menos valor agregado genera. La introducción de nuevas tecnologías en este mercado, como el vehículo eléctrico y los Sistemas Inteligentes de Transporte, acompañados de políticas regulatorias y tributarias que incentiven el uso masivo del transporte público serán fundamentales durante la transición de un país petrolero a uno cuya matriz productiva se diversifique y consuma energía principalmente proveniente de fuentes renovables (Guamán 2017, 157).

Gráfico 2. Demanda de energía por fuentes del Ecuador (2016), sector transporte



Fuente: MICSE 2017

De acuerdo con la geografía del Ecuador se considera la energía solar, eólica y geotérmica como fuentes de energía alternativas a la proveniente del petróleo y sus derivados, su costo de producción es bajo pues los insumos son naturales y la inversión inicial es menor respecto a la energía hidroeléctrica y a los combustibles fósiles.

La propuesta del estado ecuatoriano del cambio de la matriz energética se ha basado en abastecer la demanda del sector residencial mediante la construcción de centrales hidroeléctricas. En consecuencia, estas políticas conducen a la profundización de las dos grandes fuentes tradicionales de energía que ha tenido el país: agua y petróleo, así el único sector beneficiado es el residencial, dejando en segundo plano a los demás sectores de consumo. Ante esto, las políticas energéticas deben ser integrales y sostenibles, la diversificación de la matriz energética requiere un aporte de todas las fuentes de energía con potencial del país, con la visión de alcanzar “una mayor seguridad energética y menor vulnerabilidad al suministro de energía en el mediano y largo plazo” (Castro 2011, 11).

El Ecuador posee gran cantidad de recursos energéticos, reservas de petróleo cercanas a 3200 Mbep y un potencial de 23 784 MW de energía hidráulica, geotérmica y eólica (SHE 2017; MEER 2017b). A pesar del alto potencial en fuentes de energía que garantizan la suficiencia energética y la sostenibilidad a largo plazo, el país solo ha impulsado el sector hidrocarburiífero y la construcción de centrales eléctricas, sin tomar en consideración las

ERNC. Es preciso recordar que “la seguridad energética se define en dos ámbitos: suficiencia en el abastecimiento y sostenibilidad” (Vallejo 2013, 152).

Otro aspecto necesario para garantizar la seguridad energética es considerar las medidas de eficiencia energética.

La eficiencia energética a largo plazo contribuye a la reducción de los gastos en toda la cadena energética, disminuye la dependencia de las importaciones de energía, mitiga daños al ambiente de carácter global y local, aporta a la mejora de la eficiencia productiva del país y tiene impactos positivos en términos de equidad social (MICSE 2016a, 68).

Además, las fuentes de ERNC aportan beneficios ambientales mediante la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de contaminantes primarios. Por todo lo anterior, la diversificación paulatina de la matriz energética del Ecuador representa un eje imprescindible con el fin de alcanzar una matriz energética suficiente para cubrir la demanda en el mediano y largo plazo, mediante la ejecución de políticas energéticas sostenibles. En la investigación es fundamental el estudio de aspectos técnicos (energéticos), socio-económicos y ambientales como factores críticos para la implementación de fuentes de energía renovable. Así, esta investigación realiza un análisis de la situación del sector energético ecuatoriano en el año 2016, establece escenarios para el futuro mediante una prospectiva energética al año 2030, que permita evaluar los procesos de una diversificación energética sostenible.

Pregunta de Investigación

¿Cuál es la factibilidad de alcanzar una matriz energética sostenible, con el aporte de las energías renovables no convencionales, en específico la energía eólica, solar y geotérmica, presentes en el proceso de diversificación de la matriz energética del Ecuador?

Objetivos

Objetivo general

Analizar a futuro diversos escenarios energéticos para el Ecuador, con el objetivo de identificar una matriz energética sostenible a partir de indicadores energéticos, socio-económicos y ambientales.

Objetivos específicos

- Estudiar la situación actual y potenciales de la matriz energética en el Ecuador.
- Comprender la viabilidad de proponer una matriz energética diversificada en sus fuentes de energía renovable en el Ecuador.
- Determinar la contribución de las energías renovables no convencionales y medidas de eficiencia energética en los sectores de mayor consumo del país.
- Analizar los beneficios socio-económicos y ambientales de la transición energética del Ecuador.

Hipótesis

Las fuentes de energía renovables no convencionales con alto potencial en el Ecuador permiten encontrar una matriz energética sostenible con una menor dependencia del petróleo y el agua a largo plazo y con ello significativos beneficios socio-económicos y ambientales para el país.

Resumen del documento

El presente trabajo de investigación se divide en introducción, cuatro capítulos y conclusiones. En la introducción se aborda la necesidad de la diversificación de la matriz energética actual del Ecuador que es dependiente del petróleo y agua. En el capítulo 1 se realiza una discusión teórica de la transición energética y se analiza las diferentes fases, niveles y dimensiones presentes en la transición de los sistemas energéticos. En el capítulo 2 se estudia la situación actual del sector energético en el Ecuador, sus potenciales y reservas.

En el capítulo 3 se detalla la herramienta metodológica que se utiliza para el estudio de la prospectiva energética y se describe los tres escenarios energéticos a modelar. En el capítulo 4 se desarrolla la construcción de los escenarios mediante el modelo de simulación y análisis de la matriz energética (SAME) y se realiza un análisis comparativo entre ellos, para esto se considera los indicadores energéticos, socio-económicos y ambientales presentes en el proceso de la diversificación de la matriz energética. Finalmente, se presentan las conclusiones de la aplicación de medidas de eficiencia energética y la mayor contribución de las energías renovables no convencionales en la matriz energética del Ecuador.

Capítulo 1

Marco teórico

La relación que existe entre energía, ambiente, transición y desarrollo son temas que requieren un estudio detallado. Este marco teórico explica los fundamentos teóricos para argumentar una transición energética y su influencia en el medio ambiente y la sociedad. Se describe casos de transición de algunos países. Además, se discute los desafíos que conlleva lograr una transición energética y se señala la importancia de que la transición se base tanto en fuentes renovables como en el uso más eficiente de energía. Asimismo, se plantea una discusión acerca de la transición de los sistemas energéticos. Finalmente, se presenta los enfoques de los sistemas de transición y un marco integrado para la investigación de la transición y sostenibilidad.

Los objetivos de este marco teórico son los siguientes: explicar los pilares fundamentales de la transición energética y analizar las diferentes fases, niveles y dimensiones presentes en la transición de los sistemas energéticos.

Transición energética

En el contexto de la guerra fría, y en un ambiente signado por el temor a una guerra atómica, la idea de “transición energética” nace a fines de los años setenta del siglo pasado como un intento de quienes se oponían a la energía nuclear alemana con el propósito de mostrar que era necesario y posible un mundo basado en las energías renovables (Fornillo 2017, 48).

Uno de los temas de debate geopolítico desde finales del siglo pasado ha sido la transición energética. La discusión se basa en la inestabilidad del precio del petróleo como la razón de conflictos bélicos y políticos, problemas de abastecimiento y suficiencia de energía, impactos en el clima por el uso mayoritario de combustibles fósiles, se pueden mencionar como puntos de análisis y discusión que se tratan en la actualidad. La finalidad por parte de los diversos organismos es alcanzar una matriz energética más económica y confiable a base de la diversificación de sus fuentes de producción. Para alcanzar este objetivo es necesario que se definan los lineamientos planteados para este propósito, se trabaje en conjunto y se comprenda el proceso de una transición en la matriz energética.

El concepto de “transición energética” y los estudios relacionados plantean algunas interpretaciones con la coincidencia marcada de que se trata de un cambio con un horizonte de largo plazo. Smil (2010, 20) afirma que “la transición energética es el cambio en la composición o en la estructura del suministro de la energía primaria, o bien el cambio gradual de un modelo específico de aprovisionamiento energético a un nuevo estado del sistema energético”. Según Nordensvärd y Urban (2015, 157), “las transiciones energéticas son los cambios en las actividades económicas de un país en un horizonte de largo plazo sobre la base del paso de unas fuentes de energía a otras”.

Un país o región que se proponga alcanzar una transición necesita considerar que aspectos sociales, políticos económicos y culturales requiere modificar, y en que orientación y magnitud deben darse dichas modificaciones. A su vez, la transición requiere de una secuencia de acciones a desarrollar para proporcionar una seguridad energética que le ayude a experimentar el desarrollo energético planificado. Para Bernitat (2016, 7) la transición energética “no solo debe contemplar aspectos habituales como la seguridad de abastecimiento o la estructura de la balanza de pagos energética; también debe dar cuenta de la complejidad inherente a la constitución del sistema energético”.

Para que una transición sea exitosa requiere tiempo, en ningún caso menor a una década, más aún, si la dependencia es en una fuente de energía o en un elemento motriz. El mayor uso de fuentes preexistentes e ineficientes en términos de valor agregado, demanda mayor tiempo en su sustitución. Así pues, la planificación de las transiciones energéticas es de largo alcance y no garantiza que se supriman totalmente aquellas energías que tienen precios altos o que son más contaminantes. Por otro lado, “resulta claro también el papel de las tecnologías para acelerar el proceso y no menos importante es la combinación del mercado con los desarrollos técnicos o energéticos que están ligados a las transformaciones” (Álvarez y Ortiz 2016, 8).

La transición energética no es una iniciativa costosa. Su implementación no involucra montos de inversión que sean muy diferentes de los necesarios para mantener el sistema energético actual, que depende en el Ecuador en gran medida de los combustibles fósiles, un buen porcentaje de ellos importados. El principal desafío es “la reasignación de capital, bienes e infraestructura intensivos en carbono a los de bajo carbono” (Pellerin *et al.* 2017, 10). La transición energética es más rápida, más económica y más democrática si la generan los

ciudadanos. Estos se están convirtiendo en “consumidores, productores, innovadores e inversores cada vez más activos en la transición energética” (Pellerin *et al.* 2017, 11).

A lo largo de la historia se han producido varias transiciones energéticas, en gran parte en los países desarrollados. Así, la transición energética de la mano de obra y los animales de carga a la biomasa tradicional (como la leña, los residuos de cosechas o el estiércol); de la biomasa tradicional al carbón (1860 como año de referencia); del carbón al petróleo (1880) y del petróleo al gas natural (1900). También se puede incluir aquí la incorporación del uso del gas natural para electricidad y calefacción (entre 1900 y 1910), la introducción comercial de la energía nuclear (1965), las energías renovables y las centrales hidroeléctricas (1995) (Álvarez y Ortiz 2016, 7).

En la actualidad, la transición energética a la utilización de fuentes ERNC es la mejor respuesta a los efectos del cambio climático, la escasez de recursos naturales y la siempre mayor demanda de energía. En un contexto de energía global, donde el crecimiento de la demanda es impulsado por países en desarrollo y donde el suministro de energía sigue siendo principalmente fósil, los problemas ambientales y sociales que plantean su explotación y utilización solo están creciendo y sus efectos se están volviendo inmanejables y catastróficos. Este contexto global también se caracteriza por una gran inestabilidad de los precios y el suministro. “La transición energética debe ser una respuesta a los problemas climáticos, ecológicos, económicos y sociales” (Tissol y Jouzel 2013, 5).

Las presiones sobre el clima, los ecosistemas, la biodiversidad y todos los recursos naturales, como el agua o los combustibles fósiles, pueden poner en peligro a toda la humanidad a través de la interrupción y afectación del funcionamiento de las economías y los modos de vida de la población en general. Para evitar las consecuencias más graves de estos fenómenos, las Naciones Unidas recomiendan reducir a la mitad las emisiones globales de GEI para 2050 en comparación con 1990, para no superar el calentamiento global de 2 a 2,5 °C. En este contexto: “El Acuerdo de París estableció la meta global de mantener el incremento de la temperatura muy por debajo de 2 °C y hacer el mayor esfuerzo para no sobrepasar 1,5 °C” (Vallejo 2016, 12).

Allen *et al.* (2009, 56) en su estudio argumentan que “para no exceder en 2 °C el incremento de temperatura en el planeta se requerirá limitar las emisiones de CO₂ acumuladas a 1 billón

de toneladas de carbono”. Asimismo, señala que en el período de 1750 al 2000 ya se liberó 0,5 billones y que de acuerdo con tendencias actuales se quemará la mitad restante en solo 40 años. Con ello, queda en evidencia la urgencia a una transición con un modelo económico sostenible que evite un cambio climático, caso contrario la transición puede ser ineficaz y muy costosa. Las medidas a implementar deben ser urgentes, el pico máximo de emisiones de CO₂ debe establecerse en un horizonte no mayor al año 2020, posterior a ello, todas las políticas de transición tendrán un impacto (Allen *et al.* 2009, 56-58).

Como se ha descrito el proceso de transición necesita una serie de transformaciones para combatir las consecuencias negativas del cambio climático y aumentar los niveles de ahorro y eficiencia energética, pero también conlleva una “decidida apuesta a los perfiles industriales nacionales, a la igualación e innovación tecnológica local, a la transformación y actualización de la infraestructura energética que hace de base a cualquier país” (Fornillo 2017, 52).

Holanda es uno de los países que ha dado paso a la transición energética. “El gobierno nacional se ha comprometido a estimular las transiciones en la energía, la agricultura, las edificaciones y el transporte. Además, se ha establecido un programa de investigación de 20 millones de euros para aumentar el conocimiento sobre las transiciones” (Van den Bergh y Kemp 2006, 81). El programa tiene como objetivo generar conocimiento fundamental sobre los procesos de transición, los mecanismos causales y las formas en que se pueden estudiar las transiciones y los procesos relacionados. Además, se basa en producir conocimiento práctico que pueda ser utilizado en beneficio de los experimentos de transición en curso, que son fomentados por los ministerios de economía y medio ambiente.

El enfoque de las transiciones holandesas ha creado visiones a largo plazo y grandes ambiciones al apuntar a la innovación del sistema energético, así como combinar esos objetivos con una arquitectura de procesos orientada al aprendizaje y la participación de los interesados (Kern y Smith 2008, 4101).

Otro país que apuesta en firme al proceso de transición energética es Alemania en busca de un futuro más seguro, con respeto al medio ambiente y un mayor éxito económico. La principal medida fue cambiar a fondo su abastecimiento energético, limitó dentro de las posibilidades permisibles el uso de la energía nuclear y apostó por las energías renovables. A su vez, estableció políticas que permitan que el uso de la energía sea cada vez más eficiente. Estas

medidas, con la finalidad de contribuir a la mitigación del cambio climático. Asimismo, el ex ministro de Economía y Energía de Alemania, Sigmar Gabriel argumenta que “para que la transición energética tenga un éxito ecológico y económico a largo plazo un país debe poseer una economía competitiva y el suministro energético debe seguir siendo asequible y seguro” (BMW 2015, 3).

Japón es el caso de un país que se encuentra en una encrucijada energética por el triple desastre ocurrido el 11 de marzo de 2011 (terremoto, tsunami y accidente nuclear de Fukushima). La transición energética en este país es una cuestión de seguridad nacional. Por ello, la política energética japonesa de acuerdo con Casado (2016, 112) “ha puesto en marcha diversas medidas tendentes a promover una mayor conservación y eficiencia energéticas, así como a reducir su dependencia de las importaciones petrolíferas, que son las que mayor riesgo geopolítico presentan”. A su plan, lo denominó *Innovative Strategy for Energy and the Environment*. Este plan, persigue “reducir la dependencia tanto de la energía nuclear como de los combustibles fósiles, maximizando la ‘energía verde’ y potenciando por una parte la eficiencia energética y, por la otra, las energías renovables” (Casado 2016, 86).

En la actualidad la *Unión Europea (UE)* es el organismo que ha dado pasos firmes en el proceso de transición. En el mes de junio de 2018, la UE estableció que para el año 2030 se debe alcanzar un 32 % de energía renovable en la región, como parte de los lineamientos para cumplir el Acuerdo de París contra el calentamiento global. El apoyo a las energías renovables supone tener una matriz energética diversificada en Europa, esto se evidencia en el incremento de un 20 % de renovables para el año 2020, de las cuales el 17 % se espera generar a partir de la energía solar, eólica, biomasa e hidráulica con respecto al año 2017. Este cambio de generar energía a partir de los recursos renovables permitirá reducir las emisiones de contaminantes en un 40 % en el año 2030 en relación a 1990, y limitar el aumento de la temperatura global por debajo de los 2 grados centígrados.

Además del apoyo a la utilización de fuentes de energía renovable menos desarrolladas en lugar de energías convencionales, una transición energética requiere de un uso más eficiente en sus fuentes. En efecto, para alcanzar una transición se necesita adoptar medidas de eficiencia energética, mediante el uso más eficientes de sus fuentes o la sustitución de las mismas. “Gestionar la electricidad, el calor y los combustibles de forma eficiente ahorra gastos, fortalece la seguridad del suministro y atenúa el avance del cambio climático” (BMW

2015, 9). “De los 496 EJ que se consumen en el mundo de energía primaria, apenas 169 EJ se convierte en energía útil” (IIASA 2012, 44). Esto evidencia la ineficiencia de toda la cadena energética. La mayor cantidad de energía que se consume en la actualidad sufre pérdidas a lo largo de las etapas de transformación, y distribución. Además, la mayoría de las máquinas industriales, electrodomésticos y automóviles proporcionan una energía útil muy distante de la energía final demandada.

Sin embargo, los avances tecnológicos permiten disminuir la brecha que se produce entre la energía final y energía útil. Ciertas fuentes energéticas como la electricidad y tecnologías eficientes ayudan a reducir las pérdidas energéticas al tener una eficiencia relativa y termodinámica mayor a las tecnologías convencionales. Esto a su vez, le beneficia al consumidor en términos económicos y sociales y al ecosistema en el aspecto ambiental.

Por ejemplo, los vehículos eléctricos son más eficientes que los vehículos con motores de combustión interna. Los vehículos eléctricos convierten el 80 % de la energía eléctrica que utilizan en movimiento mecánico, mientras que los motores de combustión interna usan solo el 20 % de la energía térmica para la propulsión del vehículo, el resto de energía se disipa (REN 21 2012, 94).

Por esta razón, las políticas implementadas para reemplazar con energías renovables las fuentes fósiles son necesarias, para mejorar la eficiencia a lo largo de la cadena energética. Esto ayuda a que los valores de energía útil demandada se asemejen a los valores de energía final. Según Jacobson y Delucchi (2011, 1159) “un sistema energético basado 100 % en fuentes solares, eólicas, hidroeléctricas y que utiliza tecnologías eficientes de uso final, requiere un 30 % menos potencia que el actual sistema basado en combustibles fósiles”.

En el sector transporte se alcanza las mayores pérdidas en la conversión de energía final a energía útil, “cerca del 70 % de la energía primaria abastecida se pierde, es decir solo el 30 % se transforma en energía útil” (IIASA 2012, 45). Es claro, que se necesita aplicar políticas energéticas en el sector transporte mediante el desarrollo de tecnologías más eficientes como la sustitución de los motores de combustión interna por los motores eléctricos o híbridos, en particular en las ciudades donde existe más contaminación e ineficiencia. Los desafíos para tener una matriz energética en función de fuentes renovables deberían basarse en un cambio

de visión donde se incentive el uso eficiente y la diversificación de fuentes mediante la planificación del sistema energético de cada país.

A pesar de la trascendencia de la transición energética en un desarrollo sostenible, esta es solo una parte de la transición ecológica que se deberá llevar a cabo en las próximas décadas. Será necesario garantizar que las acciones implementadas en el campo de la energía y el clima no interfieran negativamente con otros temas tan importantes como “la preservación de la biodiversidad, los recursos hídricos, el potencial productivo del suelo, la calidad del aire o la lucha contra las diversas contaminaciones de nuestro medio ambiente” (Duval y Charru 2018, 14).

A su vez, la matriz energética es tan solo un subsistema de lo que se denomina sistema energético.

El sistema energético no se reduce a la producción y consumo de determinados volúmenes físicos de energía, sino que incluye las políticas públicas, los conflictos sectoriales, las alianzas geopolíticas, las estrategias empresariales, los desarrollos tecnológicos, la diversificación productiva, los oligopolios, la relación entre energía y distribución de la riqueza, o la relación entre energía y matriz productiva, etc. (Sathaye *et al.* 2012, 55).

En efecto, el sistema energético “no es un problema exclusivamente técnico, ni económico, sino también un problema social que hay que abordar en conjunto” (Arizkun 2013, 6). El sistema energético se configura como un conjunto de vínculos dentro del sistema humano y entre este y la naturaleza, y está determinado por las relaciones de producción existentes. Esta caracterización parece limitarnos en cuanto a las posibilidades de avanzar en un cambio de sistema energético en el contexto del modelo productivo actual. Sin embargo, resulta indispensable conocer las limitaciones y el alcance de una transición de cambio de matriz energética para asumir la complejidad del problema y los cambios que se requiere propiciar. En este marco, el cambio de la matriz energética hacia una matriz menos fósil, más renovable y más pequeña resulta una condición necesaria pero no suficiente.

1.1. Pilares para la diversificación de la matriz energética

La diversificación energética descansa sobre dos pilares básicos. La eficiencia energética y el desarrollo e implementación de energías alternativas. Estos puntos son un paso urgente, pero

no bastan para asegurar el futuro. Son útiles para posponer el punto crítico, pero ante el agotamiento de la fuente fósil que literalmente mueven nuestra sociedad se hace necesario desarrollar, optimizar e implementar fuentes alternativas de energía.

La disyuntiva está en que las alternativas deberán construirse de forma que se respete la vida, pero desafortunadamente el patrón de energía a nivel mundial sigue basado mayoritariamente en energía no renovable. Las centrales termoeléctricas (de carbón, gas natural, petróleo y nucleares) son responsables de aproximadamente el 80 % de la producción mundial de electricidad, y las energías renovables (incluida la energía hidroeléctrica) tan solo representan el 13 % de las fuentes de energía primarias, y esto a pesar de que se obtienen de fuentes capaces de regenerarse por medios naturales, volviéndose así inagotables y amigables con la naturaleza (Sánchez 2015).

Es de importancia que se modifiquen los patrones de generación y extracción de energía, esto diversificándola y orientándola hacia una mayor producción de energías alternativas como las energías provenientes de biocombustibles, o la energía solar fotovoltaica, eólica y geotérmica, entre otras, obtenidas de forma sustentable, sostenible y con balance energético positivo. Asimismo, se requiere el apoyo para establecer formas de gobernanza que apuesten hacia la transición energética, lo cual debe ir acompañado de cambios en los patrones de consumo y formas de obtención de energía (OLADE 2017a).

1.2. Desafíos de la implementación de las energías renovables y medidas de eficiencia energética

La evaluación de los recursos energéticos renovables presenta desafíos debido a las características heterogéneas de los flujos de energías renovables, y a una serie importante de restricciones que existen para su aprovechamiento y que tienen esencialmente relación con la distribución geográfica, el acceso y el aprovechamiento de estos recursos. “Con la finalidad de superar las limitaciones de intermitencia, densidad energética y dispersión geográfica de las energías renovables es recomendable diversificar las diferentes fuentes de energía” (Castro 2012, 42-43).

La cuantificación del potencial bruto resulta relativamente sencilla, pero ofrece poca orientación en relación al potencial de aprovechamiento real del recurso en un contexto dado, el cual suele ser significativamente inferior al anterior. Por lo tanto, se requiere la

identificación de las principales restricciones aplicables a cada recurso energético renovable y su posible evolución en el tiempo, para que la cuantificación del recurso tome en cuenta dichas restricciones y su cálculo sea real. De esta forma se podrá arribar a valores del recurso que sean de utilidad práctica para el proceso de diversificación de la matriz energética.

Las energías renovables proveen un amplio espectro de formas de energía (electricidad, energía térmica, mecánica, combustibles líquidos, gaseosos, y sólidos) y abastecen un rango de servicios energéticos cada vez más extenso. La integración de las energías renovables a la matriz energética presenta desafíos como consecuencia de algunas características que tienden a diferenciarlas de los combustibles fósiles y de la energía nuclear. Estas características ocasionan que la introducción de las energías renovables requiera cambios de diversa magnitud en el sistema energético. Dichos cambios dependen de la tecnología específica, del nivel de penetración de la misma, y de las características del sistema energético, entre otros factores (OLADE 2017a, 143).

Estas características no son universales. Tecnologías como la hidroelectricidad, la geotermia de alta entalpía, o incluso las termoeléctricas en base a biomasa tiene muchas similitudes con las centrales termoeléctricas convencionales, por lo que su incorporación al sistema eléctrico en general no presenta nuevos desafíos. Por otra parte, la variabilidad de la generación solar y eólica hace que la interconexión masiva de estas centrales requiera un rediseño del sistema eléctrico para mantener adecuados estándares de calidad y confiabilidad de suministro (Muñoz 2013).

En términos generales, la integración masiva de las energías renovables al sistema energético es técnicamente factible, pero puede redundar en mayores costos. La escala de la penetración resulta por tanto importante para determinar la profundidad del análisis que se debe realizar previa a la incorporación de las energías renovables a la matriz energética para evaluar sus posibles impactos sobre el sistema en su conjunto (Morales 2012).

1.2.1. Limitaciones sociales, económicas y ambientales

Los países y las organizaciones invierten ingentes cantidades de dinero y recursos en la generación de energía mediante combustibles y agua, pues suponen que exigen costos menores que las tecnologías que requieren recursos naturales no convencionales, que en general son tecnologías descentralizadas. Es decir, las tecnologías que se han desarrollado son

las centrales eléctricas que tienen como insumo este tipo de fuentes que se agotan. El factor económico es lo que mueve a estas instituciones a la hora de decidir sobre la tecnología a invertir. No obstante, al cuantificar los costos no se consideran las externalidades sociales y ambientales. Los gobiernos y los planificadores de política energética dejan a un lado los daños ambientales, territoriales y la problemática social resultante.

Las fuentes de energía son fundamentales para la producción económica y el consumo de los servicios que utilizan la energía para su funcionamiento como la calefacción, el transporte y la iluminación se requieren para acelerar el crecimiento económico de un país. El crecimiento en la demanda de energía provoca inevitablemente un incremento de las emisiones de dióxido de carbono. Este aumento de emisiones se produce en relación directa al crecimiento de la actividad económica, crecimiento demográfico, la dotación de recursos y estilo de vida (Robalino, Mena y García 2014). El desarrollo de fuentes de ERNC como la energía eólica, solar y geotérmica es necesario para evitar un alto impacto de la matriz energética en el consumo final de los combustibles fósiles y por consiguiente en la emisión de los GEI y de la hidroeléctrica para preservar los recursos hídricos en su ambiente natural.

Gallego *et al.* (2015) afirman que “el principal causante del calentamiento global es el dióxido de carbono (CO₂)”. El ser humano es el causante del incremento de las emisiones de CO₂ debido al aumento en la demanda de energía. La explotación acelerada de los hidrocarburos para cubrir la demanda energética, las inversiones en una sola fuente de energía renovable (hidroenergía), ha llevado al país a incrementar sus emisiones. El CO₂ representa más del 75 % de emisiones de gases de efecto invernadero (Robalino y Aniscenko 2017).

Toda fuente energética es contaminante, ya sea esta renovable o no renovable. A nivel de emisiones de CO₂, las energías no renovables emiten un nivel mayor de emisiones. La implementación profunda de centrales hidroeléctricas en lugar de centrales térmicas puede evitar la emisión de ciertos gases de efecto invernadero, pero las hidroeléctricas son fuentes incansables de generación de metano y grandes culpables de la contaminación de suelos y ríos. Por ejemplo, la represa Belmonte en Brasil es una mega construcción, cuya ocupación es de 500 km² entre las obras de la presa, central de generación y embalse, que tiene 11 000 MW de capacidad instalada. Esto ha provocado que más de 16 000 personas de bajos recursos económicos tengan que dejar sus hogares y con ello sus costumbres y sus raíces, pues la mayoría son indígenas.

Las energías renovables no convencionales, en específico la energía eólica, solar y geotérmica son fuentes menos contaminantes que la hidroenergía y el petróleo, pero no están exentas de provocar ciertos daños a la sociedad y al ecosistema. Uno de los proyectos más ambiciosos de Alemania en el sector energético, fue la construcción de un parque eólico con una capacidad de 25 000 MW. Este parque está ubicado en el mar, lo que ha ocasionado la muerte de gran cantidad de cetáceos. De igual manera, la biomasa, es una fuente energética que provoca un gran desabastecimiento alimenticio y daños al ecosistema por la inmensa tala de árboles (Castro 2012).

La energía solar y eólica, son fuentes renovables con gran potencial en la naturaleza. Sin embargo, los materiales que se requieren para la fabricación de los paneles solares y turbinas eólicas son escasos. Además, lo que se estaría incentivando al desarrollar estas tecnologías es la explotación de metales como el cobre, hierro e indio que también son recursos no renovables. Esto genera la necesidad de crear tecnologías más eficientes, que requieran una menor cantidad de materiales para su fabricación, caso contrario, no habrá ninguna diferencia en la generación de energía a partir del petróleo o a partir de fuentes renovables.

En el aspecto económico, la limitación de acceso al financiamiento por ser energías nuevas y de alto riesgo es otro de los impedimentos para su desarrollo. “Conseguir una transición radical y rápida en las tecnologías de generación y uso de la energía requiere movilizar conjuntamente en todo el mundo una inversión y una capacidad industrial sin precedentes” (Castro 2012, 48). El grado de eficiencia y discontinuidad de las energías renovables respecto a los combustibles fósiles hacen que energías como la eólica, solar y geotérmica presenten costos mayores para su aprovechamiento. En la actualidad, la innovación tecnológica y el apoyo mediante políticas energéticas han hecho que las energías renovables sean competitivas. Por ejemplo, los paneles solares han experimentado una mejora en sus precios, los últimos 30 años, dichos precios han reducido en un 80%.

1.3. Transición de sistemas energéticos

Actualmente, existe un gran interés en estimular o acelerar las transiciones hacia sistemas sostenibles, especialmente en los sectores de la energía, el transporte y la agricultura. Aunque la economía dominante choca de cierta manera con el enfoque en la investigación de la transición, la economía ofrece aportes al estudio de las transiciones (Van den Bergh y Kemp 2006). Los estudios sobre “las etapas de desarrollo, las olas largas, la dependencia

tecnológica, la resolución de conflictos, las inversiones públicas y las transiciones de los sistemas de democracia comunista a los de mercado parecen especialmente relevantes para el estudio de la transición” (Van den Bergh y Kemp 2006, 81).

Los sistemas de transición son procesos complejos que están liderados por una adaptación gradual en lugar de una gestión o coordinación visionaria. Muchas transiciones que se proponen hoy en día son transformaciones completas del sistema de energía, con el objetivo de conseguir una economía baja en carbono, no sólo a un cambio en la fuente de energía dominante. La teoría económica anticipa que las transiciones de energía deberían ser suaves y permitir un cambio entre productos sustitutos, ya que la escasez de un recurso aumenta su costo e impulsa la utilización de otro en cantidades similares (Fouquet y Pearson 2016). Las transiciones se pueden manifestar de dos maneras. La primera hace una distinción entre transiciones espontáneas y orientadas. La mayoría de transiciones han sido espontáneas e ineficaces en el desarrollo sostenible. La segunda forma se basa en identificar el grado de complejidad de una transición donde se puede distinguir entre transiciones relativamente simples versus complejas. Finalmente, algunas transiciones previstas en una fase temprana son inciertas en términos de impacto. Esto es válido para las tecnologías relacionadas con la energía, en particular el hidrógeno, la energía solar fotovoltaica, la energía eólica y la fusión nuclear (Van den Bergh y Oosterhuis 2005).

En el sector energético, las transiciones deseadas son difíciles de iniciar y lograr, porque el sistema prevaleciente (dominante) actúa como una barrera para la creación de un nuevo sistema. Investigaciones recientes en estudios de transición sostienen que las transiciones requieren además de una solución tecnológica, una combinación de cambios económicos, políticos, institucionales y socioculturales (Berkhout, Ángel y Wieczorek 2009; Cohen, Brown y Vergragt 2010; Stephens, Wilson y Peterson 2008). Un tema clave para entender por qué ocurren o no las transiciones es que muchas prácticas importantes en el lado de la oferta, especialmente la inversión, o la prestación y venta de energía o servicios energéticos, solo pueden ocurrir por un lapso prolongado de tiempo si son financieramente sostenibles, es decir, puedes ganar dinero con ellos.

Las transiciones deben guiarse por una ética que aúne tecnología y sostenibilidad. Al respecto, se conoce que el precio por sí solo, no explica completamente la adopción de nuevas tecnologías. Una serie de factores institucionales, conductuales y culturales también juegan un

papel importante en el desarrollo y la difusión de la tecnología. Existen dos motivos principales para esto.

El primero es que los mercados energéticos no son abiertos y libres, sino que están muy influenciados por las políticas nacionales e internacionales, incluidas las políticas climáticas. El segundo es que los gobiernos desempeñan un papel importante en la creación de las condiciones propicias para que surjan las nuevas tecnologías (a través del financiamiento de la ciencia) y para que se difundan (a través de la creación de mercados para las nuevas tecnologías) (Berkhout, Marcotullio y Hanaoka 2012, 110).

Como la economía ecológica nos ha recordado, la energía es esencial para la economía moderna y el nivel de vida; no solo el consumo sino también la provisión de bienes públicos como salud y educación. Por lo tanto, “quizás el desafío ambiental más importante actualmente es cómo hacer que la producción y el uso de la energía sean sostenibles” (Lockwood *et al.* 2013, 3). La idea de una transición hacia un sistema de energía más sostenible no es nueva. En 1976, Amory Lovins argumentó que Estados Unidos enfrentaba una elección entre dos ‘rutas de energía’:

El primer camino se asemeja a la política federal actual y es esencialmente una extrapolación del pasado reciente. Este camino se basa en la rápida expansión de las altas tecnologías centralizadas para aumentar el suministro de energía, especialmente en forma de electricidad. El segundo camino combina un compromiso rápido y serio con el uso eficiente de la energía, el rápido desarrollo de fuentes de energía renovables combinadas en escala y en calidad de la energía con las necesidades de uso final, y las tecnologías transicionales de combustibles fósiles especiales. Este camino, un todo mayor que la suma de sus partes, diverge radicalmente de las prácticas incrementales del pasado para perseguir metas a largo plazo (Lovins 1976, 65).

Lovins caracterizó estos dos caminos como caminos de energía ‘duros’ y ‘blandos’ respectivamente. Lo que llama la atención es que luego de más de 40 años, todavía estamos reflexionando sobre esta misma opción. Durante muchos años después de la publicación del artículo de Lovins, la mayoría de los países, ayudados por los combustibles fósiles baratos y el largo tiempo que ha tomado el problema del clima para obtener reconocimiento, simplemente han continuado a lo largo del camino de la energía dura. Hace relativamente poco tiempo que la energía renovable y el énfasis en la eficiencia energética han entrado en la

corriente principal. En algunos países, aunque ha cambiado mucho en términos de objetivos y aspiraciones, menos ha cambiado en términos de cambio estructural y resultados prácticos. Otros países, sin embargo, parecen moverse a lo largo de un camino de energía blanda. Por lo tanto, las rutas de energía son cada vez más divergentes, con algunos países que muestran un movimiento mucho más rápido y sostenido que otros (Lockwood *et al.* 2013).

Las tasas de transición de energía varían según los países: suelen ser más lentas en las economías grandes y desarrolladas, pero más rápidas en las más pequeñas. “Esto se origina por la infraestructura más pequeña y menos extensa de los países en desarrollo” (Sgouridis y Csala 2014, 2602). Comprender por qué y cómo es que algunos países pueden implementar políticas que conducen a un cambio más profundo y más rápido en prácticas y resultados sostenibles es un primer paso para permitir que cualquier país pueda implementar políticas para acelerar la transición a un futuro de energía sostenible (Lockwood *et al.* 2013).

El principal foco de interés es hasta qué punto los países gestionan el crecimiento de las energías renovables y el lado de la demanda de energía, especialmente altos niveles de eficiencia, baja demanda global y flexibilidad en la demanda. Este énfasis en las rutas de energía blanda surge de la observación de que los escenarios de los futuros sistemas de energía con estos elementos dominantes son casi inevitablemente los que logran la sostenibilidad ambiental al costo global más bajo. “La demanda en particular es clave ya que, a menor demanda, menor es el requerimiento de suministro, y cuanto más flexible es la demanda, más se puede acomodar el suministro renovable naturalmente variable sin la necesidad de un almacenamiento costoso” (Lockwood *et al.* 2013, 3).

¿Cómo originar un cambio en el sistema de transición energética?

Con el fin de comprender la dinámica actual en el sistema energético y las circunstancias en las que podría alcanzar el despegue, es necesario “realizar un análisis integrado del sistema de energía, y su desarrollo histórico, mediante el uso de la perspectiva multinivel para indicar la fase actual del sistema energético” (Loorbach, Van der Brugge y Taanman 2008, 297). Los sistemas de transición integran diferentes fases, niveles y dimensiones de transición y las combina con las funciones de gobierno para proporcionar marcos globales con la finalidad de comprender las transiciones del sistema (Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008, 32).

Los tres elementos del proceso de transición son:

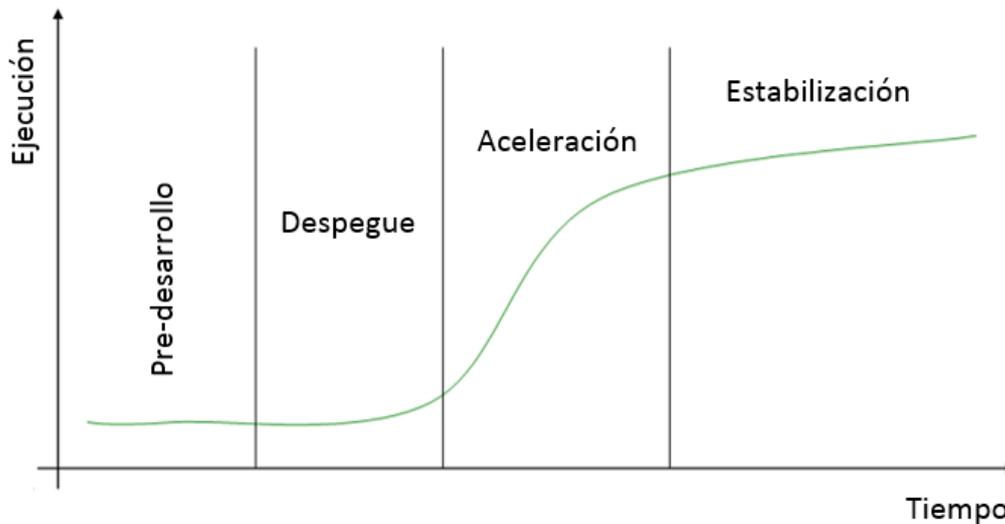
- 1 Cuatro fases del proceso de transición: pre-desarrollo, despegue, aceleración y estabilización.
2. Tres niveles de análisis que incluyen el nicho, el régimen y el paisaje
3. Cuatro dimensiones de la transición, que incluyen cambio tecnológico, industrial, político y social (Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008, 11).

1.3.1. Fases de transición

Las transiciones involucran cuatro etapas, a saber: pre-desarrollo, despegue, aceleración o adelanto, y estabilización (Rotmans, Kemp y Van Asselt 2001). El proceso de transición es gradual y la naturaleza y la velocidad del cambio difieren en cada una de las fases de transición (ver gráfico 1.1.).

- a) En la fase previa al desarrollo, el régimen permanece estable, aunque el panorama social cambia lentamente y hay una creciente innovación ascendente.
- b) En la fase de despegue, el proceso de cambio se pone en marcha y el estado del sistema y su régimen comienzan a cambiar.
- c) En la fase de aceleración los cambios estructurales tienen lugar de manera visible a través de la acumulación de cambios socioculturales, económicos, ecológicos e institucionales. Durante esta fase hay procesos de aprendizaje colectivo, procesos de difusión e institucionalización.
- d) En la fase de estabilización, la velocidad del cambio social disminuye y se alcanza un nuevo equilibrio dinámico (Loorbach, Van der Brugge y Taanman 2008, 296).

Gráfico 1.1. Fases de transición



Fuente: Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008

La curva en forma de S muestra cómo el rendimiento de una tecnología mejora en comparación con el esfuerzo utilizado para desarrollarlo. En la práctica, “la mayor parte de este desarrollo es el resultado de las economías de aprendizaje, que a su vez dependen del nivel de adopción y la experiencia de los usuarios” (Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008, 11).

Desarrollo histórico del sistema energético de los Países Bajos

El sistema energético actual es el producto de una transición histórica: desde el sistema de energía extensivo, basado en la producción de energía descentralizada, la biomasa tradicional y el carbón, hasta el sistema de energía eficiente a gran escala basado en el gas natural y el petróleo. En el sistema energético holandés se discierne tres períodos; el período desde principios del siglo XX hasta 1945 como una fase previa al desarrollo que lleva a un despegue, la fase de aceleración entre 1945 y 1980 y la estabilización entre 1980 y 2000. Este largo período se elige para enfatizar el marco temporal de las transiciones, y con ello poner las transiciones a sistemas de energía sostenible en perspectiva. “Esta descripción se enfoca en los desarrollos en aplicaciones de uso final, uso de energía, infraestructura material, marco institucional, combinación de combustibles y agenda política, mecanismos utilizados en la mayoría de países de Europa” (Loorbach, Van der Brugge y Taanman 2008, 298).

Durante el último cuarto de siglo, el régimen energético holandés ha cambiado considerablemente con respecto a los cambios institucionales y políticos, pero las aplicaciones de uso final, los niveles de consumo, los desarrollos infraestructurales y la combinación de combustibles no lo hicieron. Sobre la base de este análisis, se llega a la conclusión de que la dinámica del sistema de energía parece estar en una nueva etapa de desarrollo previo. “La presión del calentamiento global, el agotamiento de los recursos (incluidas las reservas nacionales de gas natural), la inestabilidad política debido a la dependencia de los productores de combustibles fósiles y la atención al desarrollo sostenible está creciendo en promedio” (Loorbach, Van der Brugge y Taanman 2008, 302). Desde esta perspectiva, una nueva transición energética parece inevitable. La pregunta fundamental es doble: en qué dirección debe desarrollarse esta transición; y ¿somos capaces de gestionar procesos de transición tan complejos en esta dirección deseada?

1.3.2. Niveles de transición

Otro elemento clave para teorizar la transición es el análisis paralelo de desarrollos sociales en diferentes niveles. Entre los enfoques que abordan los niveles de transición se tiene el enfoque de las transiciones socio técnicas y el enfoque de la economía evolutiva (perspectiva multinivel), los cuales “apuntan a un modelado más realista de los cambios sociales, incluso a expensas de la mayor complejidad y las dificultades relacionadas que plantea el modelado de sistemas económicos” (Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008, 9).

En el enfoque de las transiciones socio técnicas, una transición se conceptualiza como el cambio de un estado relativamente estable del sistema socio técnico a otro (Geels 2002; Rotmans, Kemp y Van Asselt 2001). Dichos sistemas son estructuras complejas formadas por una amplia gama de áreas diferentes en la industria, la tecnología, la política y la sociedad. Las transiciones desde este enfoque “implican nuevas tecnologías, pero también cambios en los mercados, en las prácticas de los usuarios, en las políticas y en los significados culturales” (Geels 2002, 1257). Por lo tanto, las transiciones son transformaciones profundas y de gran escala (Lockwood *et al.* 2013).

Las transiciones no se producen fácilmente, “porque los elementos en una configuración socio técnica están vinculados y alineados entre sí” (Geels 2002, 1258). Las tecnologías radicalmente nuevas tienen dificultades para abrirse camino debido a que “las regulaciones, la infraestructura, las prácticas de los usuarios y las redes de mantenimiento se alinean con la

tecnología existente” (Lockwood *et al.* 2013, 8). Sin embargo, la transición es posible, e históricamente se ha logrado en muchas ocasiones.

De acuerdo con Roep, Van der Ploeg y Wiskerke (2003) este enfoque enfatiza su carácter socio-institucional, distinguiendo tres niveles analíticos que ordenan la dinámica compleja de cambio socio técnico:

El micro nivel de los nichos, donde la aplicabilidad de los nuevos ajustes que son prometedores (novedades) son probadas en un espacio protegido; el nivel meso de régimen, guiando los cambios a lo largo de los caminos tecnológicos; y el macronivel del Paisaje que refleja los desarrollos estructurales (Lockwood et al. 2013, 9).

Como se trata de cambios a gran escala y profundos, las transiciones implican no solo métodos y prácticas nuevos, sino también que diferentes grupos sociales, por ejemplo, nuevos productores, distribuidores y minoristas, se beneficiarán del proceso de transición mientras que otros pueden perder (Fouquet 2010).

La atención reciente a las transiciones con un enfoque particular en la provisión de energía está vinculada a la tradición más antigua del pensamiento evolutivo con respecto al cambio económico y tecnológico. La noción de transición tiene su origen en la dinámica de la población y por lo tanto se relaciona bien con la teoría evolutiva (Van den Bergh y Kemp 2006). La economía evolutiva ofrece una visión clara de los mecanismos subyacentes a las innovaciones, los cambios estructurales y las transiciones. Por lo tanto, es de gran valor para la formulación de políticas destinadas a fomentar una transición hacia un desarrollo sostenible. El enfoque teórico evolutivo (de la perspectiva multinivel) al igual que el enfoque socio técnico describe las transiciones de los sistemas de energía como procesos en los que la evolución se produce por interacción a tres niveles: (i) régimen; (ii) paisaje; y (iii) nicho (Geels 2002, 2004).

El régimen “representa la configuración socio-técnica dominante, estabilizada por la interacción de elementos materiales existentes (tecnologías, infraestructuras), grupos sociales y redes de actores” (Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008, 14). Por ejemplo, la energía a base de carbono y los sistemas de transporte. Los elementos de paisaje u horizonte, tienen que ver con los procesos más amplios que afectan a un sistema, sobre los que es muy difícil de

influir. Sus elementos pueden ser: “tendencias en el medio ambiente (cambio climático), demográficas (urbanización), etc.” (Le Fol 2012, 27). Finalmente, un nicho es un espacio, generalmente protegido de las presiones directas del mercado, en el que se desarrollan soluciones que de algún modo comprometen la lógica establecida por los regímenes. “El nicho o micro-nivel se percibe como el lugar para la innovación radical” (Le Fol 2012, 28). Según la teoría evolutiva, los cambios ocurren cuando el paisaje evoluciona y ejerce presión sobre un régimen, en el que se intensifican sus tensiones internas (ver tabla 1.1.).

Tabla 1.1. Niveles de transición

Nivel de análisis	Descripción	Ejemplos
<i>Paisaje</i>	El paisaje forma un entorno de nivel macro exógeno que influye en los desarrollos en nichos y regímenes.	Los recursos naturales (por ejemplo, las reservas mundiales de petróleo y gas), el cambio climático.
<i>Régimen</i>	El régimen se refiere a la política general institucional establecida, al sistema industrial y al usuario que cumple una función específica en la sociedad. El régimen es dinámicamente estable y no está prescrito por restricciones externas, sino que se configura y mantiene principalmente a través de la adaptación mutua y la evolución conjunta de sus actores y elementos. El régimen es dinámicamente estable y no está prescrito por restricciones externas, sino que se configura y mantiene principalmente a través de la adaptación mutua y la evolución conjunta de sus actores y elementos.	La producción de electricidad a base de carbono, la distribución y el sistema del usuario.
<i>Nicho</i>	Nicho forma el nivel en el que surgen novedades radicales que se ajusten al régimen existente	Sistemas de energía solar, sistemas de energía de hidrógeno.

Fuente: Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008

1.3.3. Dimensiones de transición

Además de las fases y los niveles de transición, el análisis de las transiciones de los sistemas se beneficia de la identificación de las dimensiones relevantes del cambio social. De acuerdo con el enfoque de las transiciones socio técnicas, se considera cuatro dimensiones cruciales para comprender el surgimiento de la innovación de sistemas: cambio tecnológico, industrial, político y social que se detallan a continuación (Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008).

a) Cambio tecnológico. - la identificación de los vínculos entre las tecnologías físicas, así como sus diferentes fases de madurez proporciona una mejor comprensión no solo del estado actual del proceso de transición, sino que también ayuda a identificar los principales cuellos de botella tecnológicos y oportunidades para vías alternativas de futuro tecnológico. Aquí, “la interoperabilidad de las tecnologías se vuelve crucial para los rendimientos crecientes de las economías de escala que apoyan la difusión de la tecnología” (Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008, 15).

b) Cambio industrial. - la identificación de redes de desarrolladores de tecnología, proveedores y aplicadores (usuarios) y servicios de financiamiento relacionados (inversionistas) mejora la comprensión de los factores clave y las barreras para el cambio en el sistema. “Las soluciones que se adaptan a las condiciones organizativas existentes son más fáciles de implementar, lo que lleva a economías de aprendizaje; las habilidades y el conocimiento se acumulan a través de aprender haciendo y aprender usando” (Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008, 15).

c) Cambio de política. - los marcos de políticas, entendidos como amplios marcos institucionales y legales, pueden funcionar como barreras y motores para el cambio. Por ejemplo, en Europa, los marcos legales y de políticas se han desarrollado para corregir y optimizar el desempeño de la sociedad en vista de los criterios específicos en cada área de políticas. Tales esfuerzos de políticas orientadas a la optimización pueden debilitar las condiciones de bloqueo de los sistemas existentes (Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008).

d) Cambio social. - el éxito de los sistemas tecnológicos depende también de la experiencia y la respuesta de los usuarios finales y de aquellos que están muy afectados por el sistema. “El cambio social puede crear demanda de tecnologías emergentes, pero también obstaculizar la difusión de tecnologías prometedoras” (Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008, 16). Estas cuatro dimensiones proporcionan el marco entrelazado para el análisis de procesos complejos de transición tecno institucional.

El eje final para alcanzar la transición del sistema es la gobernanza. A nivel de paisaje, los esfuerzos de mitigación del cambio climático pueden considerarse como un caso representativo de la gobernanza global actual. Por otro lado, las negociaciones internacionales

como el Acuerdo de París proponen un enfoque proactivo que combina diferentes formas de organización social.

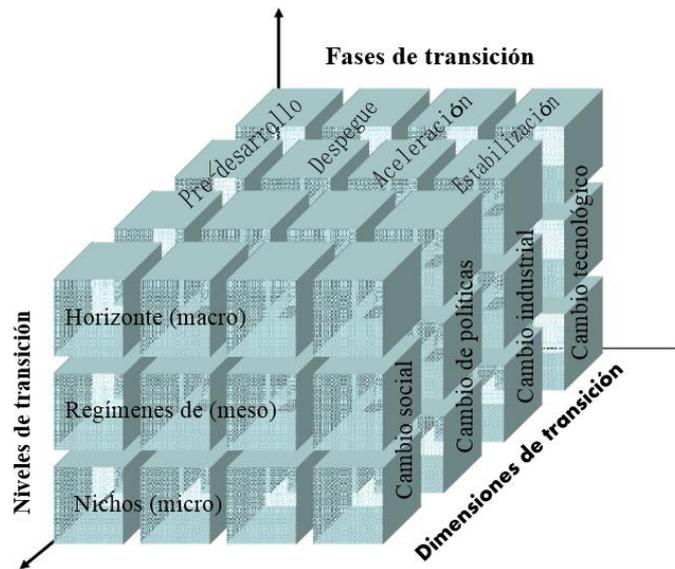
Para alcanzar una transición se requiere que se cumplan condiciones económicas, sociales y geopolíticas, ya que incluso si un gobierno se compromete a realizar una transición energética, es posible que no se llegue a ejecutar. Existe un gran apoyo en estimular las transiciones hacia energías renovables, pero la transición no depende de un solo factor. Las transiciones y el tema de la sostenibilidad son cuestiones inherentemente sociales y, por ende, las estrategias de gobernanza deben involucrar a una amplia gama de actores. Las estrategias de gobierno en este contexto deben incluir actividades de estructuración y coordinación, así como permitir y crear espacios para actividades espontáneas y profundas. “El gobierno debe desempeñar un papel activo en este proceso de transición como ente facilitador” (Loorbach, Van der Brugge y Taanman 2008, 304).

Un ejemplo sobre gobernanza planificada se produce actualmente con el gobierno de los Países Bajos, el cual ha asumido la ambición de romper con el sistema actual de suministro de energía. “El objetivo intermedio para 2020 es ser una de las naciones más sostenibles de Europa, y el objetivo final para 2050 es haber completado el cambio a un suministro de energía 100% sostenible” (Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008, 23). Para hacer la transición, el gobierno ha desplegado un mega proyecto, que involucra a toda la sociedad llamada ‘Energie’.

1.3.4. Marco integrado para la transición y gobernabilidad

Las cuatro fases de transición descritas anteriormente, los tres niveles de análisis y las cuatro dimensiones de la transición del sistema son elementos importantes en el análisis de la transición del sistema. En particular, cuando estos elementos se combinan en un marco común, es posible identificar los factores de transición y las barreras con más detalle. El enfoque combinado se puede ilustrar en la siguiente presentación tridimensional (ver gráfico 1.2.):

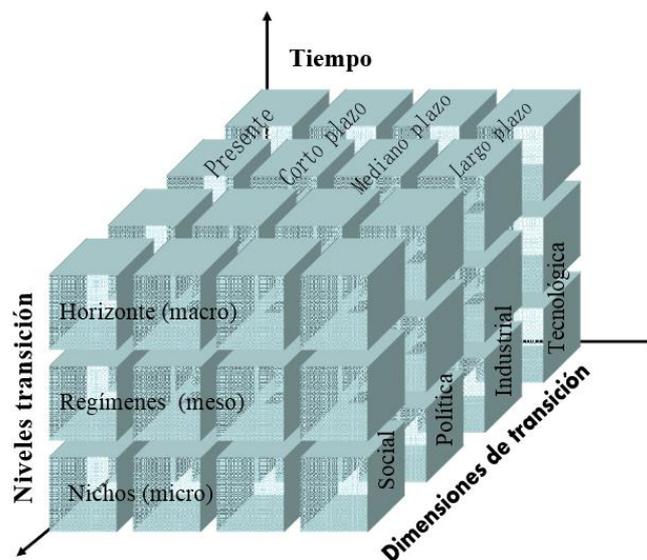
Gráfico 1.2. Fases, niveles y dimensiones de transición



Fuente: Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008

La presentación tridimensional admite el posicionamiento de desarrollos específicos en un momento definido en el tiempo. Sin embargo, este tipo de presentación es estática dejando fuera el tiempo, lo cual es crucial cuando se tratan los procesos evolutivos. Este marco debe adaptarse a la coevolución de diferentes tecnologías y sistemas que probablemente existan en paralelo, pero en diferentes fases de transición. Con este fin, las fases de transición pueden reemplazarse con la línea de tiempo que permite análisis explícitos de la evolución conjunta de varias fases de transición dentro de diferentes dimensiones y niveles (ver gráfico 1.3.).

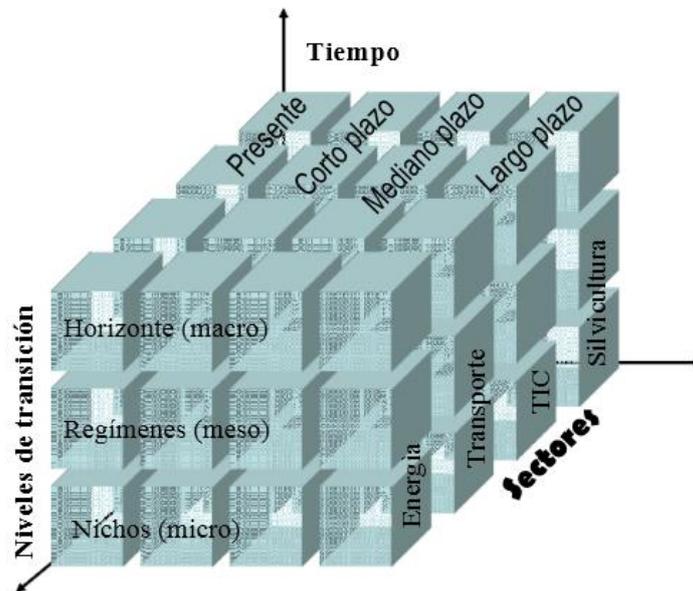
Gráfico 1.3. Tiempo, niveles y dimensiones de transición



Fuente: Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008

Además, las interrelaciones entre los sistemas sociales o sectoriales son propensos a marcar la diferencia principal en los procesos de transición. Por lo tanto, el análisis debe tener en cuenta las interrelaciones entre los sistemas en diferentes sectores. Los sistemas de generación y distribución de energía son propensos a ser afectados por los sectores industriales, tales como la silvicultura, en términos de la demanda de energía y el uso de biocombustibles, y tecnologías de la información y la comunicación (TIC), en cuanto a la gestión distribuida de la producción de energía (ver gráfico 1.4.).

Gráfico 1.4. Interrelaciones entre sectores



Fuente: Könnölä, Van Der Have y Carrillo 2008

Con los antecedentes expuestos se identifica la necesidad de desarrollar la presente investigación desde el enfoque socio técnico y evolutivo, donde la regulación ambiental, gestión de recursos e innovación predominan en el proceso de la diversificación energética de un país. Se plantea la necesidad de un estudio desde el punto de vista de la oferta (aporte de ERNC) y de la demanda (medidas de eficiencia energética). Este enfoque asociado con el estudio de los indicadores energéticos, socio-económicos y ambientales son de gran contribución en el proceso de encontrar una matriz energética sostenible y formular políticas para alcanzar un desarrollo sostenible.

Capítulo 2

Estado actual del sector energético ecuatoriano

El objetivo de este capítulo es analizar la composición del balance energético ecuatoriano 2016, así como identificar los elementos centrales de los planes de gobierno y políticas energéticas para definir un proceso de diversificación energética. El balance energético del Ecuador del año 2016 es el punto de partida en la prospectiva de esta investigación. Para ello, en este capítulo se realiza una explicación de las partes que componen la matriz energética de un país. Se efectúa un análisis del consumo, generación eléctrica y oferta total de energía para el año base de estudio para el país y se compara con la región de América Latina y El Caribe y algunos de los países que conforman esta región. Luego, se presenta los potenciales de las tres fuentes de energía renovables no convencionales del Ecuador, así, la energía eólica, solar y geotérmica. Al final, se estudia los planes de gobierno, políticas energéticas y planes de eficiencia energética respecto al proceso de diversificación de la matriz energética.

2.1. Matriz energética del Ecuador en el año 2016

La matriz energética cuantifica la producción, transformación y consumo de las distintas fuentes de energía que posee un país. Para la planificación y la puesta en marcha de políticas energéticas se toma como base a los balances energéticos. Estos son una representación matricial que ayuda a contabilizar los flujos de energía en cada una de las cadenas energéticas (producción, transporte, transformación y consumo). De acuerdo con OLADE (2017b, 19) el balance energético es “una matriz de doble entrada, en la cual, las columnas representan los energéticos y las filas indican las actividades que comprenden al sistema energético”. Como unidad de contabilización se utiliza el barril equivalente de petróleo (bep), unidad calórica común que permite las comparaciones entre los flujos de las diferentes fuentes.

En los energéticos constan las fuentes de energía primaria y secundaria. La energía primaria se refiere a todos los recursos naturales encontrados en la naturaleza y que no han sido sometidos a proceso alguno de conversión. La energía secundaria es la resultante de los procesos de transformación de las fuentes primarias (electricidad a partir de hidroenergía, gasolina, diésel; GLP a partir de petróleo). Las actividades son: la oferta que es la sumatoria de la producción, importación, exportación y variación de inventarios; los procesos de transformación de las fuentes de energía primaria y el consumo en los diferentes sectores (ver tabla 2.1.).

Tabla 2.1. Balance energético

Actividad	Energético	Fuentes de energía primaria												Fuentes de energía secundaria																
		Hidrocarburos Primarios			Fuentes Minerales		Energía Directa				Biomasa			Otras Fuentes Primarias	Productos de petróleo y gas natural						Producto de fuentes minerales			Productos de biomasa						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Petróleo crudo	Gas Natural	Gas Natural	Carbón Mineral	Nuclear	Hydroenergía	Geotermia	Eólica	Solar	Leña	Productos de caña	Otra biomasa		Electricidad	GLP	Gasolina	Kerosen y Jet Fuel	Diesel oil	Fuel oil	Gas de refinería	Coque de petróleo	Otros productos	Coque de carbón mineral	Gases industriales	Otros productos	Carbón vegetal	Etanol	Biodiesel	Biogas	Otras fuentes secundarias	No energético
1	Producción primaria	ENERGÍA PRIMARIA												ENERGÍA SECUNDARIA																
2	Importación																													
3	Exportación																													
4	Variación de inventario																													
5	No aprovechado																													
6	Transferencias																													
7	Bunkers																													
8	OFERTA TOTAL																													
9	Refinería																													
10	Centros de gas																													
11	Centrales eléctricas																													
12	Autoproductores																													
13	Alto horno																													
14	Carbonera																													
15	Destilería de etanol																													
16	Plantas de biodiesel																													
17	Otras transformaciones																													
18	TRANSFORMACIÓN TOTAL																													
19	Consumo propio																													
20	Pérdidas																													
21	Ajuste																													
22	Transporte																													
23	Industria																													
24	Residencial																													
25	Comercial, servicios y público																													
26	Agro, pesca y minería																													
27	Construcción y otros																													
28	Consumo energético																													
29	No energético																													
30	CONSUMO FINAL																													

Fuente: OLADE 2017b

El balance energético se presenta en términos de energía final, es decir, en el balance se cuantifica la energía que se pone a disposición en cada uno de los sectores económicos y sociales del país. “Un balance cumple en el sector energético un papel análogo al de las matrices de insumo-producto en el sector económico” (OLADE 2017d, 38). Como se visualiza, en la tabla anterior, el balance energético consta de las siguientes actividades: oferta, transformación y consumo final. Para la cuantificación de estas actividades se sigue el formato de OLADE que se detalla a continuación:

- Actividades de la oferta total

La oferta total es la sumatoria de la cantidad total de energía y se considera las fuentes primarias y secundarias. “Es la cantidad de cada fuente, que está disponible para el uso interno, ya sea para insumo a transformación, para consumo propio del sector energético o para consumo final” (OLADE 2017d, 64). Para el cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$OT_t = PP_t + IM_t - EX_t + VI_t - NA_t$$

Donde:

OT_t = Oferta total interna en t

PP_t = Producción de fuentes primarias en t

IM_t = Importación de energías primarias y secundarias en t

EX_t = Exportación de energías primarias y secundarias en t

VI_t = Variación de inventarios (positivo o negativo) en t

NA_t = Energía no aprovechada en t (OLADE 2017e).

- Actividades de transformación

Las energías primarias y secundarias realizan procesos físicos y químicos en las instalaciones de los centros de transformación con la finalidad de obtener productos energéticamente aprovechables. Entre los productos refinados se tiene a la gasolina, diésel, jet fuel, kerosene, GLP, residuo, biodiesel, etanol, etc. En las actividades de transformación se incluyen las centrales de generación eléctrica que permiten convertir varios recursos energéticos en electricidad.

Adicional a estas actividades, se tiene “las máquinas que permiten convertir una forma de energía en otra, como son las centrales de generación eléctrica que convierten diferentes tipos

de energía en electricidad” (OLADE 2017d, 46). En el balance energético el insumo que se va a transformar se despliega con signo negativo. Por el contrario, el producto transformado tiene signo positivo. El valor resultante de la transformación es la suma de los valores negativos (OLADE 2017d).

- Actividades de consumo

Estas actividades comprenden la suma del consumo final energético y el consumo final no energético. El consumo final energético es la sumatoria de las fuentes primarias y secundarias utilizadas por los sectores de consumo final. El consumo final no energético es “el consumo de fuentes energéticas como materia prima para la fabricación de bienes no energéticos” (OLADE 2017d, 62), como el asfalto para la construcción o kerosene para limpieza. “El despliegue en el balance de los datos de consumo, se lo hace siempre con signos positivos” (OLADE 2017d, 62).

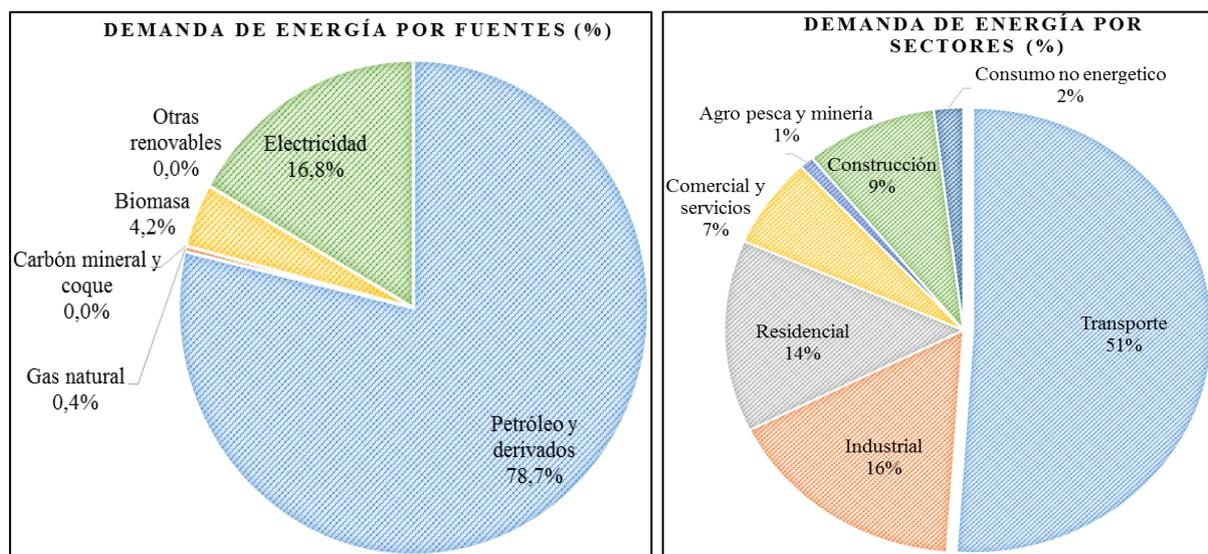
A continuación, se detalla las actividades del balance energético para el Ecuador.

2.1.1. Consumo final de energía

El consumo total de energía del Ecuador, en el año 2016, fue 86 644,95 kbep, lo que representó menos del 2 % del consumo de América Latina y El Caribe (ALyC). El transporte con un 51 %, la industria con un 16 % y el residencial con un 14 % son los sectores con mayor porcentaje de consumo de energía del país. Es importante conocer los sectores con mayor consumo energético en el país, con el fin de “focalizar las medidas de eficiencia energética y obtener los resultados más contundentes en cuanto al ahorro integral de energía y reducción en la emisión de gases de efecto invernadero” (OLADE 2017c, 32).

En este contexto, el sector del transporte constituye un campo de acción prioritario. Al respecto Dafermos *et al.* (2015, 467) establecen que “la inversión en políticas y sistemas de transporte más eficientes no solamente traerá consigo una importante reducción en la importación de combustible (con el consiguiente ahorro de divisas), sino que presenta también el mayor potencial de reducción de la contaminación”. El reemplazo de combustibles fósiles por fuentes de energía más limpias ayudaría en la reducción de los niveles de contaminación e igualmente en el aspecto social pues evitaría enfermedades por la inhalación de gases tóxicos (ver gráfico 2.1.).

Gráfico 2.1. Estructura del consumo energético por fuentes y sectores del Ecuador (2016)



Fuente: OLADE 2018

En el gráfico anterior, se evidencia también, que el petróleo y sus derivados, el gas natural y la electricidad, son las fuentes de energía más demandadas. En Ecuador, el consumo de petróleo y derivados sobrepasa el 78 % de la matriz de consumo final de energía y la energía en forma de electricidad se consume en un 16,8 %.

En términos per cápita, el consumo final de energía en el Ecuador es de 5,29 bep/hab, menor en comparación al promedio de ALyC que tiene un consumo final de 7,15 bep/hab. Si se analiza la cantidad de electricidad demandada, en el Ecuador se consume 1434 kWh/hab en comparación con ALyC que consume un promedio de 2031 kWh/hab.

Al contrastar estos valores con los valores promedio de ALyC se podría inferir, por una parte, que el Ecuador tiene un nivel menor de industrialización y la calidad de vida de los ciudadanos es menor. Por otra parte, al considerar las emisiones de CO₂ como parámetro de calidad ambiental, se puede concluir que el Ecuador es un país que contamina en menor magnitud.

A continuación, se presenta el consumo final total y per cápita de algunos de los países de América Latina (ver tabla 2.2.).

Tabla 2.2. Consumo final y eléctrico per cápita de algunos países de ALyC (2016)

Región/país	Consumo final		Consumo eléctrico	
	Total	Per cápita	Total	Per cápita
	Mbep	bep/hab	GWh	kWh/hab
América Latina y el Caribe	4 498,76	7,15	1 277 043,19	2 030,78
Argentina	421,42	9,64	131 940,55	3 018,41
Bolivia	48,31	4,43	8 202,89	752,28
Brasil	1 647,32	7,96	489 436,04	2 365,90
Chile	204,07	11,30	65 125,92	3 605,09
Colombia	223,45	4,59	61 016,97	1 254,20
Ecuador	86,64	5,29	23 491,63	1 433,73
Paraguay	38,05	5,55	11 013,46	1 606,63
Perú	140,79	4,43	45 396,44	1 428,64
Uruguay	33,76	9,70	11 115,87	3 194,22
Venezuela	267,31	8,64	75 148,09	2 429,15

Fuente: OLADE 2018

La tabla nos indica que el país que más consumo final y consumo eléctrico de energía tiene es Chile, 11,30 bep/hab y 3605,09 kwh/hab respectivamente. De acuerdo al *Índice de Desarrollo Humano* (IDH) que mide el desarrollo de un país, Chile es uno de los países más desarrollados de ALyC. Por este motivo, estos indicadores energéticos podrían ser un punto de partida para establecer conclusiones sobre el hecho de que el consumo energético y la riqueza per cápita están relacionados con el desarrollo, ya que los países con mayor desarrollo económico consumen grandes proporciones de energía para mantener su bienestar.

Cada país, para alcanzar una matriz de oferta total diversificada, como punto de partida, apuesta por tener una generación eléctrica 100 % renovable y luego se centra en la oferta total de energía. La electricidad se puede obtener a partir de energías primarias o secundarias, renovables o no renovables. La demanda de generación eléctrica en el Ecuador, hasta el año 2015, se logró mediante la generación de centrales termoeléctricas o las importaciones a países como Colombia y Perú. En la actualidad el Ecuador ha potenciado sus recursos hidroeléctricos, lo cual ha permitido reducir la generación termoeléctrica y eliminar las importaciones. Sin embargo, la inserción de las ERNC ha sido lenta. Por ello, en esta tesis, el análisis de la generación eléctrica es necesario, con el objetivo de obtener electricidad mediante fuentes renovables no convencionales.

2.1.2. Generación eléctrica

La hidroelectricidad es la fuente principal de la generación eléctrica en el Ecuador. La capacidad instalada en el país en el año 2016 fue de 8226,44 MW, lo que representa el 2,8 % en relación a ALyC que para este año tuvo 294 GW de capacidad instalada. Las centrales hidráulicas son las unidades con mayor potencial nominal, éstas superan el 50 %. A nivel de ALyC, la potencia nominal de las centrales hidráulicas alcanza un 46,9 % (ver tabla 2.3.).

Tabla 2.3. Estructura de la capacidad instalada por fuentes del Ecuador (2016)

Tipo de fuente	Tipo de central	Tipo de unidad	Potencia nominal (MW)
Renovable	Hidráulica	Hidráulica	4 446,36
	Térmica Biomasa	Turbovapor	144,30
	Fotovoltaica	Fotovoltaica	26,48
	Eólica	Eólica	21,15
	Térmica Biogás	Motores de combustión interna (MCI)	2,00
Total Renovable			4 640,29
No Renovable	Térmica	Motores de combustión interna (MCI)	2 005,43
		Turbogás	1 118,85
		Turbovapor	461,87
Total No Renovable			3 586,15
Total			8 226,44

Fuente: MEER 2017a

Con la capacidad instalada descrita, el Ecuador generó un total de 27 313,85 GWh, lo que representa el 1,7 % respecto a ALyC que alcanzó una energía producida de 1582,64 TWh en el año 2016 (ver tabla 2.4.).

Tabla 2.4. Estructura de la generación eléctrica por fuentes del Ecuador (2016)

Tipo de fuente	Tipo de central	Tipo de unidad	Energía producida (GWh)	Energía producida (kbep)
Renovable	Hidráulica	Hidráulica	15 833,84	9 810,65
	Eólica	Eólica	83,96	52,02
	Fotovoltaica	Fotovoltaica	38,75	24,01
	Térmica Biogás	MCI	12,88	7,98
	Térmica Biomasa	Turbovapor	476,52	295,25
Total Renovable			16 445,95	10 189,91
No Renovable	Térmica	MCI	6 301,00	3 904,10
		Turbogás	2 762,20	1 711,46
		Turbovapor	1 804,70	1 118,19
Total No Renovable			10 867,90	6 733,75
Total			27 313,85	16 923,66

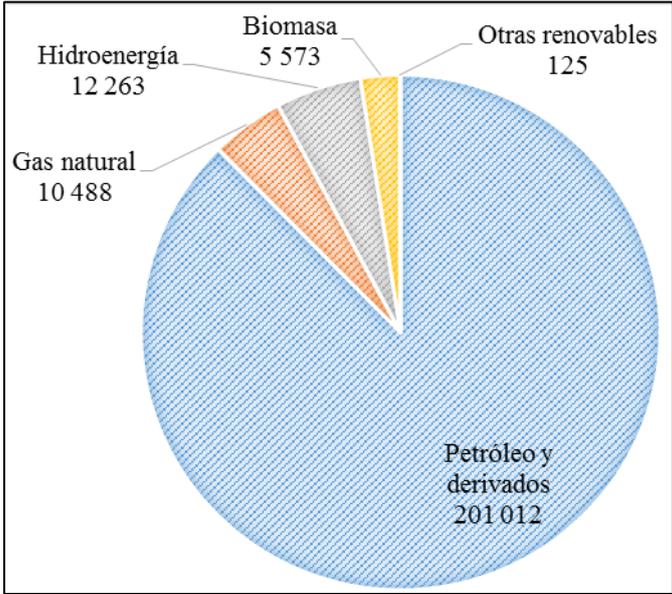
Fuente: MEER 2017a

Asimismo, en el Ecuador la generación de electricidad se originó principalmente a partir de la hidroenergía con un aporte cercano al 58 %, la generación mediante motores de combustión interna, turbogas y turbovapor (fuentes térmicas no renovables) fue algo más del 40 %. Las ERNC no alcanzaron el 2 % de la generación de electricidad. La generación de energía de ALyC se produjo a partir de la hidroenergía con un 45,1 % y de las fuentes térmicas no renovables con un 44,9 %.

2.1.3. Oferta interna total de energía

Los hidrocarburos y el gas natural son las fuentes principales en la oferta total de energía del Ecuador. Las fuentes renovables alcanzan cerca del 15 % de participación (ver gráfico 2.2.). Se destaca el aporte de la biomasa, este gracias a los altos niveles de consumo de productos de caña y leña. La hidroenergía es la fuente renovable con mayor aporte. En cambio, el aporte de la energía solar, eólica y geotérmica no alcanza el 1 % en el año 2016 (ver gráfico 2.2.).

Gráfico 2.2. Producción de energía primaria para el Ecuador (2016), en kbep



Fuente: OLADE 2018

La oferta total de energía para el país, alcanzó los 111 331,80 kbep durante el 2016, lo que equivale al 1,7 % de la oferta total de ALyC. No obstante, la producción de energía primaria es mucho mayor, alcanza los 229 461,91 Kbep que se generan a partir del petróleo y gas en mayor porcentaje. El 70 % del petróleo crudo producido se exporta, de aquí que para abastecer la demanda de energía se requiera la importación de derivados de petróleo.

De acuerdo con los datos de oferta y demanda de energía, la región de ALyC goza de una autosuficiencia energética (su oferta total es de 6377,66 Mbep y su demanda es de 4498,76 Mbep). Ecuador, Colombia, Venezuela, Bolivia, Perú y Paraguay son netamente exportadoras de energía. Chile y Uruguay demandan más energía de la que ofertan. Brasil y Argentina son países que en términos energéticos ofertan más de lo que demandan, pero a su vez tienen más importaciones que exportaciones de energía. La mayoría de los países de la región tienen la capacidad de cubrir su demanda interna, el problema es su dependencia en los derivados de petróleo (ver tabla 2.5).

Tabla 2.5. Oferta total de energía de algunos países de ALyC (2016)

Región-país	Mbep	Producción	Importación	Exportación	Variación de Inventarios	No Aprovechado	Oferta Total
América Latina y el Caribe		7 695,48	1 984,38	3 041,21	-16,95	244,04	6 377,66
Argentina		535,80	131,28	41,18	0,53	0,98	625,45
Bolivia		157,49	6,54	100,08	0,27	0,52	63,69
Brasil		2 088,39	421,66	407,28	-6,89	10,48	2 085,39
Chile		92,03	204,73	9,83	2,21	-	289,14
Colombia		959,97	41,71	682,26	8,82	3,51	324,72
Ecuador		229,46	42,35	156,83	0,03	3,85	111,17
Paraguay		76,52	15,10	30,46	0,67	9,46	52,37
Perú		216,19	79,05	79,86	-0,39	32,80	182,19
Uruguay		25,69	17,23	2,26	0,59	2,59	38,66
Venezuela		1 380,91	11,18	829,22	-	138,23	424,64

Fuente: OLADE 2018

El Ecuador es un país que posee recursos renovables y no renovables que le permiten tener un excedente en su oferta. Su potencial se basa en la hidroenergía y el petróleo. El problema de depender en dos fuentes y no diversificar la matriz energética es que el nivel de industrialización del país no le permite generar productos finales. Por ello, la importación de productos derivados de petróleo para abastecer el sector transporte o el residencial es una necesidad. En este sentido, la información que proporciona el balance energético de la oferta, transformación y consumo final, en el año base, se centra en establecer lineamientos para promover la diversificación energética mediante el desarrollo de fuentes renovables e incentivar el uso más eficiente de energía en los sectores de mayor consumo. Los datos del balance energético del Ecuador para el año 2016 son el punto de partida para realizar las proyecciones (ver tabla 2.6.).

Tabla 2.6. Balance energético del Ecuador (2016)

Actividad / Energético	PETRÓLEO	GÁS NATURAL	CARBÓN MINERAL	HIDROENERGÍA	GEOTERMIA	NUCLEAR	LEÑA	CAÑA DE AZÚCAR Y DERIVADOS	OTRAS PRIMARIAS	TOTAL PRIMARIAS	ELECTRICIDAD	GAS LICUADO	GASOLINA/ALCOHOL	KEROSENE/JET FUEL	DIESEL OIL	FUEL OIL	COQUE	CARBÓN VEGETAL	GASES	OTRAS SECUNDARIAS	NO ENERGÉTICO	TOTAL SECUNDARIAS	TOTAL	
	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	kbep	
PRODUCCIÓN	201 012	10 488		12 263			1 824	3 750	125	229 462	16 924	2 055	12 193	2 593	14 112	19 980			291	6 412	1 725	76 284	229 462	
IMPORTACIÓN											51	6 625	14 310		18 078	3 283							42 347	42 347
EXPORTACIÓN	139 046									139 046	249	466				11 919				5 147		17 782	156 828	
VARIACIÓN DE INVENTARIOS	246									246		-8	-91	-12	-94	-8							-213	33
NO APROVECHADO		3 845								3 845						1							1	3 846
OFERTA TOTAL	62 213	6 643		12 263			1 824	3 750	125	86 817	16 725	8 671	25 946	2 581	32 096	11 335			291	1 265	1 725	100 636	111 169	
REFINERÍAS	-59 223	0								-59 223		1 261	11 396	2 593	14 112	19 980			14	6 364	1 725	57 445	-1 778	
CENTRALES ELÉCTRICAS		-2 735		-11 698					-76	-14 509	13 967				-2 193	-6 102				-1 007		13 967	-9 844	
AUTOPRODUCTORES	-2 393	-1 699		-566				-2 023		-6 681	2 956	-132			-2 225	-30				-258		2 956	-6 370	
CENTROS DE GAS		-1 868								-1 868		793	599					277				1 669	-198	
CARBONERA																								
COQUERÍA Y ALTOS HORNOS																								
DESTILERÍA								-132		-132		198										198	65	
OTROS CENTROS									-49	-49										49		49		
TOTAL TRANSFORMACIÓN	-61 616	-6 301		-12 263				-2 156	-125	-82 461		-132			-4 418	-6 132				-1 265		-11 948	-18 124	
CONSUMO PROPIO	740	20								760	282	131	143	18	999	1 444			291			3 307	4 067	
PÉRDIDAS											2 168											2 168	2 168	
AJUSTE	-143	0								-143	-280	0	0	0		588				0		308	165	
TRANSPORTE											6	50	19 708	2 440	20 066	2 014						44 284	44 284	
INDUSTRIAL		318					337	1 594		2 250	5 807	586	6	123	4 557	956						12 036	14 286	
RESIDENCIAL		3					1 486			1 490	4 402	6 191		0								10 593	12 083	
COMERCIAL, SERVICIOS, PÚBLICO											3 077	381			2 047	201						5 705	5 705	
AGRO, PESCA Y MINERÍA												138	694									832	832	
CONSTRUCCIÓN Y OTROS											1 263	1 062	5 394		10							7 730	7 730	
CONSUMO ENERGÉTICO		322					1 824	1 594		3 740	14 555	8 408	25 803	2 563	26 679	3 171						81 180	84 920	
CONSUMO NO ENERGÉTICO																					1 725	1 725	1 725	
CONSUMO FINAL		322					1 824	1 594		3 740	14 555	8 408	25 803	2 563	26 679	3 171					1 725	82 905	86 645	

Fuente: OLADE 2018

2.2. Planes de gobierno para la diversificación de la matriz energética ecuatoriana

El Ecuador no ha tenido éxito en la diversificación de la matriz energética. “Disponer de energía en condiciones seguras, confiables, accesibles y a precios razonables, todo ello en un marco de sustentabilidad ambiental y garantizando al país los mayores niveles de soberanía” (MICSE 2016a, 16), no ha sido posible, debido a que los esfuerzos han llegado de manera esporádica, de instituciones públicas que siguen sus propios objetivos e intereses políticos. Esto conlleva a establecer planes, donde el despliegue de las ERNC se sustente en grandes esfuerzos del gobierno, con un apoyo de los diferentes sectores de la sociedad. A su vez, los objetivos planteados deberían ser con un horizonte a largo plazo y con políticas energéticas que ayuden a la sostenibilidad del sector energético del país.

Como parte de estos objetivos nacionales, en relación al sector energético, se destaca la necesidad de una transformación de la matriz energética basada en un manejo responsable y eficiente de las fuentes primarias, impulsando con visión de largo plazo el desarrollo de energías de fuentes renovables, todo ello bajo un enfoque de equidad (MICSE 2016a, 23).

Para cumplir estos objetivos, se creó una hoja de ruta que ayude a sentar las bases del sector energético del Ecuador. Las directrices que se plantean en la *Agenda Nacional de Energía 2016-2040* apuestan a “garantizar al país una energía de calidad, eficiente, soberana, segura, a precio justo y amigable con el ambiente” (MICSE 2016a, 45). A continuación, se enumeran las principales directrices:

- a) Un sector energético integralmente planificado, equitativo e incluyente
- b) Una matriz energética diversificada, renovable y sostenible
- c) Soberanía y seguridad energética con un suministro de calidad para toda la población
- d) Un Ecuador con uso eficiente de energía
- e) Integración energética regional y contribución del Ecuador a un desarrollo energético global sostenible (MICSE 2016a).

Además, en el *Plan Estratégico Nacional 2014-2017* se menciona que “la nueva capacidad hidroeléctrica instalada juega un rol estratégico en el abastecimiento de energía amigable con el ambiente, además de ser segura y de bajo costo” (MEER 2014, 47). Con estos planteamientos se ha promovido el desarrollo de la hidroenergía con la construcción de megaproyectos que se detallan a continuación:

- Proyectos emblemáticos para la generación hidroeléctrica

El Ecuador apostó por el desarrollo de las centrales hidroeléctricas para satisfacer la demanda energética de electricidad, dirigida a satisfacer el consumo de electricidad del Sistema Nacional Interconectado que comprende el sector industrial, comercial, residencial y alumbrado público.

La inversión que realizó el estado ecuatoriano en la construcción de ocho centrales hidroeléctricas supera los 4770 millones de dólares, esto con la finalidad de lograr un sector eléctrico autosuficiente y disminuir daños ambientales, en particular, evitar las emisiones de CO₂. De acuerdo, a la planificación se estima evitar la generación de 6,29 millones de t CO₂/año. La potencia nominal de las ocho hidroeléctricas es de 2832 MW. Con este potencial se espera generar 16 184,40 GWh/año.

Sin embargo, en la actualidad, de las ocho hidroeléctricas solo tres están en funcionamiento: Manduriacu, Sopladora y Coca Codo Sinclair y las otras presentan retrasos y algunos problemas estructurales. La hidroeléctrica más grande del país, Coca Codo Sinclair, opera alrededor del 70 % de su capacidad. Esto ha originado un desabastecimiento, pérdidas económicas y con ello un retraso en la planificación de diversificar la matriz de generación eléctrica. A continuación, se presenta a los ocho proyectos emblemáticos, se indica fundamentalmente la energía anual estimada y su costo de implementación (ver tabla 2.7.).

Tabla 2.7. Características técnico económicas de los proyectos emblemáticos del Ecuador

Nombre del proyecto	Potencial Nominal (MW)	Energía anual estimada (GWh)	Mt CO ₂ /año evitadas	Costo Total (USD millones)
Coca Codo Sinclair	1500,00	8734,00	3,45	2245,00
Sopladora	487,00	2800,00	1,09	755,00
Minas San Francisco	275,00	1290,00	0,51	556,00
Toachi-Pilatón	254,00	1120,00	0,43	508,00
Delsitanisagua	180,00	1411,00	0,48	334,00
Mandariacu	65,00	349,00	0,14	183,27
Quijos	50,00	355,00	0,14	138,00
Mazar-Dudas	21,00	125,40	0,05	51,20
Total	2832,00	16184,40	6,29	4770,47

Fuente: Muñoz 2016

Además, el cambio de la matriz energética mediante las centrales hidroeléctricas adopta un riesgo, el hidrológico, sin embargo, de tener centrales hidroeléctricas en dos cuencas con

hidrologías cuasi complementarias, la mayoría de ellas ubicadas en la cuenca del río Amazonas, que lo convierte independiente del recurso agua, capaz de adaptarse al cambio climático respecto a cambios en los caudales de lluvia y a las temperaturas de las cuencas hidrográficas. La puesta en marcha de estos proyectos, no ha sido suficiente en el proceso de la diversificación de la matriz energética ecuatoriana, por ello, en esta investigación se plantea a tres fuentes de energía renovables a desarrollar: energía eólica, solar y geotérmica. Esto permitirá encontrar una matriz energética sostenible para el país, considerando los indicadores energéticos, socio-económicos y ambientales.

2.2.1. Desarrollo de las fuentes de energía renovables no convencionales (ERNC)

Con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático, los gobiernos a nivel mundial han buscado otras fuentes de producción energética, implementado acciones a favor de una transición energética, que permitan alcanzar una matriz energética diversificada, renovable y sostenible en el tiempo. Los países de ALyC son conscientes del enorme potencial de ERNC que poseen, por ello, buscan dar mayor peso en su matriz de generación eléctrica a este tipo de fuentes. Asimismo, promueven el uso racional de los recursos energéticos del país (MICSE 2016a).

“Las estrategias de desarrollo de energía sostenible, típicamente requieren tres grandes directrices: el ahorro de energía en el lado de la demanda, la eficiencia en la producción de energía y la sustitución de combustibles fósiles por fuentes de energía renovables” (Lund 2007, 912). El Ecuador ha establecido políticas en estas tres directrices de desarrollo energético, sin embargo, las ERNC (solar fotovoltaica, eólica, geotérmica) no han logrado alcanzar una significativa participación en la oferta primaria de energía para la producción de electricidad. El escaso apoyo del gobierno en las ERNC se debe, en parte, a las reservas probadas y posibles de petróleo y el alto potencial hidroeléctrico que tiene el país.

La estabilidad de las ERNC puede ser otro factor determinante al momento de apoyar el desarrollo de este tipo de fuentes. Pues, si consideramos la energía solar y eólica, sus factores de planta (relación entre la energía producida y energía teórica) son de 0,17 y 0,40 respectivamente, valores mucho menores al factor de planta de las hidroeléctricas que llegan al 0,6 o las centrales térmicas que se encuentran en 0,9. No obstante, el paradigma de creer que las energías renovables no son competitivas ha quedado en el pasado, “actualmente la energía eólica representa el segundo menor costo unitario de generación de electricidad

renovable y el costo unitario de la generación solar ha caído considerablemente.” (Guamán 2017, 33). A esto, si a las ERNC se le adiciona la disminución en emisiones de CO₂ pueden llegar a ser competitivas con el petróleo e hidroenergía. La siguiente tabla indica los precios preferenciales de las ERNC en el Ecuador (ver tabla 2.8.):

Tabla 2.8. Precios preferenciales de las energías renovables no convencionales en Ecuador

Centrales	Costo USD/kWh
Eólicas	11,74
Solar termoeléctrica	25,77
Corrientes marinas	32,43
Biomasa y Biogás	11,08
Geotermia	13,81
Hidroeléctrica $C \leq 10$ MW	7,81
Hidroeléctrica $10 < C \leq 30$ MW	6,86
Hidroeléctrica $30 < C \leq 50$ MW	6,51

Fuente: Muñoz 2016

El potencial, precios, y condiciones geográficas han incentivado la inclusión de las fuentes de ERNC en el *PME 2016-2025*, aunque no en la magnitud esperada. A continuación, se describe el potencial de cada una de estas fuentes en el Ecuador.

2.2.2. Potenciales energéticos

De acuerdo al *Plan Maestro de Electricidad 2016-2025* (2017a) se estima que existen 23 784 MW disponibles, entre energía hidráulica, eólica y geotérmica. La energía solar tiene un potencial de 312 000 MW. Del potencial de energías renovables, un 6,55 % proviene de la hidroenergía, un 0,27 % de la geotermia, un 0,26 % de la eólica y un 92,92 % de la energía solar. Con la energía producida a partir de la energía solar (282 804,76 kbep), fácilmente se podría cubrir la demanda de la matriz energética del Ecuador (86 644,95 kbep en el año 2016). A su vez, la Secretaría de Hidrocarburos del Ecuador (SHE) estima que las reservas probadas de petróleo para el año 2016 son de 3173000 kbep conforme se presenta (tabla 2.9.).

Tabla 2.9. Potencial energético del Ecuador (2016)

Tipo de energía	Fuente	Potencial	Factor de planta	Energía estimada (GWh)	Energía estimada (kbep)
Renovable (MW)	Hidroenergía	22 000	0,55	105 996,00	65 675,14
	Geotermia	900	0,85	6 701,40	4 152,19
	Eólica	884	0,40	3 097,54	1 919,23
	Solar	312 000	0,17	456 431,04	282 804,76
No renovable (kbep)	Petróleo	3 173 000	0,90	4 608 939,88	2 855 700,00
	Gas natural	65 000	0,80	83 925,09	52 000,00

Fuente: MEER 2017a y SHE 2017

El potencial del petróleo y gas natural es muy alto si se compara con el potencial de las fuentes renovables, este podría generar cerca de 3 millones de Kbep. No obstante, al ser recursos no renovables tendrán un tiempo de vida. El potencial de las energías renovables supera los 0,35 millones de Kbep, pero este podría perdurar a lo largo del tiempo. A continuación, se presenta a detalle el potencial energético de las energías solar, eólica y geotérmica.

- Energía Solar

La energía solar presenta grandes oportunidades de desarrollo. De acuerdo a Sánchez (2015) “la radiación solar captada por Ecuador es tres veces superior a la captada por España, convirtiéndolo en una zona estratégica cuyas condiciones impulsan a la instalación de tecnologías para la generación de energía solar fotovoltaica” (Sánchez 2015, 152). De acuerdo con el atlas solar del Ecuador, las provincias de Loja, Imbabura y Carchi son las zonas con mayor radiación del país. Es decir, poseen el mayor potencial para generar energía fotovoltaica. Muñoz (2013) establece que “el potencial solar estimado con fines de generación eléctrica en el país es alrededor de 312 GW equivalente a 456 TWh/año o 283 Mbep/año”.

- Energía Eólica

La orografía del Ecuador por la existencia de la Cordillera de los Andes y su contigüidad con el Océano Pacífico potencia al país en el desarrollo de energía eólica (PME 2017a). A su vez, la construcción de turbinas eólicas ha experimentado una reducción de costos en los últimos años, gracias a la evolución tecnológica. El potencial eólico establecido por el MEER en el año 2012 presenta estimaciones en dos escenarios: “el Potencial Bruto Total y el Potencial Factible a Corto Plazo” (Guamán 2017, 35). Con estos escenarios se considera que “existe un

potencial disponible bruto de 1691 MW y un potencial factible a corto plazo de 884 MW” (PME 2017, 170). La energía a generar con esta capacidad sería de 3097 GWh/año.

- Energía Geotérmica

Se ha identificado 17 zonas geotérmicas con potencial energético en el país, considerando que se tiene más de 30 volcanes activos. Muñoz (2013, 9) destaca el potencial geotérmico en el país con los siguientes proyectos: “Tufiño-Chiles (139 MW), Chalupas (282 MW), Chachimbiro (113 MW), Chalcana (418 MW) y Alcevo (150 MW)”. Esto permite establecer que el Ecuador cuenta con un potencial geotérmico instalable cercano a 3000 MW y un potencial factible a corto plazo de 900 MW. Esta capacidad instalada podría generar 6701 GWh/año.

2.2.3. Plan nacional de eficiencia energética Ecuador 2016-2035

Entre el año 2006 y 2015 el Ecuador experimentó un crecimiento económico del PIB de 3,9 % lo que se traduce a la calidad de vida de la población y en consecuencia un incremento de la demanda interna de energía (Banco Mundial 2017).

Este aumento de las necesidades energéticas puede verse controlado gracias a la aplicación de programas de eficiencia energética que, en términos sencillos, consisten en lograr que el Ecuador consuma una menor cantidad de energía para generar una misma unidad de producto o servicio. Desde la óptica socioeconómica, “la eficiencia energética es un mecanismo para la generación de empleo de alta especialización en la aplicación de programas y proyectos de gran impacto. Esto permite un desarrollo descentralizado y promueve la investigación y la generación de conocimiento local” (MEER 2017b, 14). El *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable* desarrolló un Plan Nacional de Eficiencia Energética que este estudio toma como referencia para su prospectiva al año 2030 (ver gráfico 2.3.).

Gráfico 2.3. Medidas de eficiencia energética del Ecuador (2016-2035)

Sector Residencial	Reducción de 0.73% en el consumo energético del sector entre 2017 y 2022.	<ul style="list-style-type: none"> - Sustitución de equipos de refrigeración en un Programa de 10 años. - Reemplazo de luminarias tipo LFC e incandescentes por tipo LED. - Medidores de energía inteligentes. - Reducción del uso de gas natural como resultado de buenas prácticas. - Reducir el uso de la leña en 50%, y a la vez duplicar la tasa de eficiencia de la leña.
Sector Residencial	No existen metas específicas de reducción de consumo hasta el año 2022.	<ul style="list-style-type: none"> - Aumentar la eficiencia energética en usos térmicos y eléctricos específicos. - Calentamiento solar de agua. - Controlar el uso de electricidad para cocción para evitar un fuerte incremento de la demanda de potencia de punta, cuidando el precio relativo del GLP con respecto a la tarifa eléctrica. - Programa de reemplazo de refrigeradores con el que se espera reducir 24,820 MWh hasta 2022. - Programa de reemplazo de cocinas de gas por cocinas de inducción.
Sector Transporte	Incremento anual de 3,000 MWh hasta 2022 por reemplazo de combustibles con electricidad.	<ul style="list-style-type: none"> - Mejorar la eficiencia del transporte particular con la introducción de vehículos híbridos. - Introducir el uso de biocombustibles para los vehículos particulares. - Introducir el uso de gas natural para vehículos de transporte público (taxis).
Sector Industrial	378,176 MWh de reducción en el consumo energético a 2022.	<ul style="list-style-type: none"> - Introducir el uso de biodiésel en transporte pesado. - Introducir vehículos eléctricos. - Mejorar la eficiencia energética tanto en usos eléctricos como en usos térmicos. - Promover la eficiencia energética como un mecanismo para mejorar la ventaja competitiva. - Reducir el uso de derivados intermedios de petróleo como el diésel. - Implementar sistemas de gestión de energía compatibles con la norma ISO 50001

Fuente: MEER 2017b

Capítulo 3

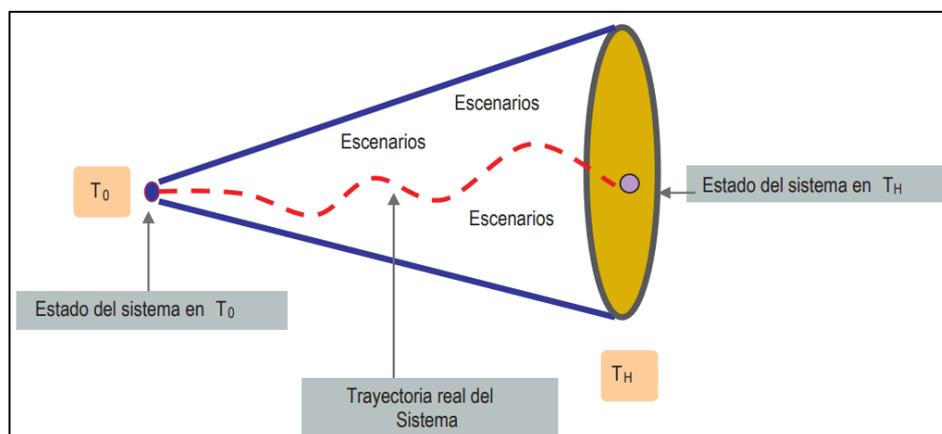
Metodología

El objetivo de este capítulo es explicar para qué sirve la prospectiva energética y en base a qué premisas se crean los escenarios. Este capítulo describe el modelo de simulación y análisis de la matriz energética (SAME) como herramienta metodológica para realizar la prospectiva al año 2030 en el caso ecuatoriano. Se detalla sus principales características y el aporte que tiene en la presente investigación. Asimismo, se presenta a los tres escenarios para analizar el proceso de la diversificación de la matriz energética. Cada escenario con sus premisas y datos de entrada se detallan en la segunda sección del capítulo. Finalmente se realiza la descripción de los indicadores energéticos, socio-económicos y ambientales, que sirven de base para el análisis de los escenarios.

3.1. Prospectiva energética

La prospectiva es una disciplina que se esfuerza en realizar una exploración de los futuros posibles, con la finalidad de lograr una previsión que permita aclarar las acciones presentes a seguir, a la luz de los escenarios posibles proyectados (Godet y Durance 2009). El objetivo que busca alcanzar un análisis de prospectiva energética es determinar los escenarios futuros más probables que puede alcanzar un país, de acuerdo a sus potenciales y planes energéticos. De forma gráfica, un proceso de prospectiva se puede comprender como un cono sólido, cuyo vértice representa la matriz energética en un tiempo T_0 . A partir de este punto se puede tener una serie de escenarios (diferentes matrices energéticas), hasta llegar a T_H donde los escenarios posibles se amplían (ver gráfico 3.1.).

Gráfico 3.1. Prospectiva energética



Fuente: OLADE 2017a

En una prospectiva energética se requiere la proyección del consumo y de la oferta de energía. Estas proyecciones abarcan una serie de áreas de conocimiento e involucran una gran cantidad de variables. Dada la amplitud exigida, en general, se requiere el uso de modelos matemáticos que describen la cadena energética, desde la extracción de las fuentes energéticas hasta su uso final, a lo largo de la producción, transformación, distribución y almacenamiento. Como explica Connolly *et al.* (2010), no hay una herramienta que aborde todos los temas relacionados con la diversificación energética, en lugar de ello, la “mejor” herramienta dependerá de los objetivos específicos que se planteen en la prospectiva.

Podría ser mejor utilizar un modelo que es ‘aproximadamente correcto’ para evaluar varios problemas al mismo tiempo, en lugar de juntar varios modelos sofisticados, con el riesgo de afectar la transparencia y la flexibilidad, además de crear una inconsistencia total del enfoque (Frei, Haldi y Sarlos 2003). “Además del rigor, la prospectiva necesita de métodos y herramientas lo suficientemente sencillas como para que se puedan incorporar y así abordar la complejidad” (Godet y Durance 2009, 41).

En esta línea, la herramienta metodológica que se usó para la prospectiva energética es el modelo de simulación y análisis de la matriz energética (SAME) desarrollado por la *Organización Latinoamericana de Energía (OLADE)*. Esta es una metodología lógica deductiva, pues parte de premisas propuestas con la finalidad de obtener diferentes escenarios energéticos y con ello estructurar conclusiones lógicas. El método utilizó como información de base el balance energético del Ecuador para el año 2016. Además, para las proyecciones se recopiló información de las series históricas desde el año 2005 al año 2015 de todas las actividades que conforman la cadena energética. Las fuentes de información estadística fueron: *Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL)*, *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)*, *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*, *Agencia Internacional de Energía (IEA)*, *Banco Central del Ecuador (BCE)*, *Banco Mundial* y el *Sistema de Información Energética de América Latina y el Caribe de la Organización Latinoamericana de Energía (SIELAC-OLADE)*.

La proyección se realizó con horizonte al año 2030, las variables proyectadas mediante este método fueron: consumo final por sectores, importaciones y exportaciones por fuente, producción de energía primaria y producción de fuentes secundarias en los centros de transformación. Las políticas implementadas en la proyección de la oferta y demanda de

energía se basaron en el *Plan Maestro de Electrificación 2016-2025 (PME)* y en el *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035 (PLANEE)*. Adicionalmente para la proyección del consumo final de energía se aplicó políticas energéticas en relación a la sustitución de fuentes energéticas y penetración de fuentes más eficientes a los sectores de mayor consumo del país.

3.2. Modelo de simulación y análisis de la matriz energética (SAME)

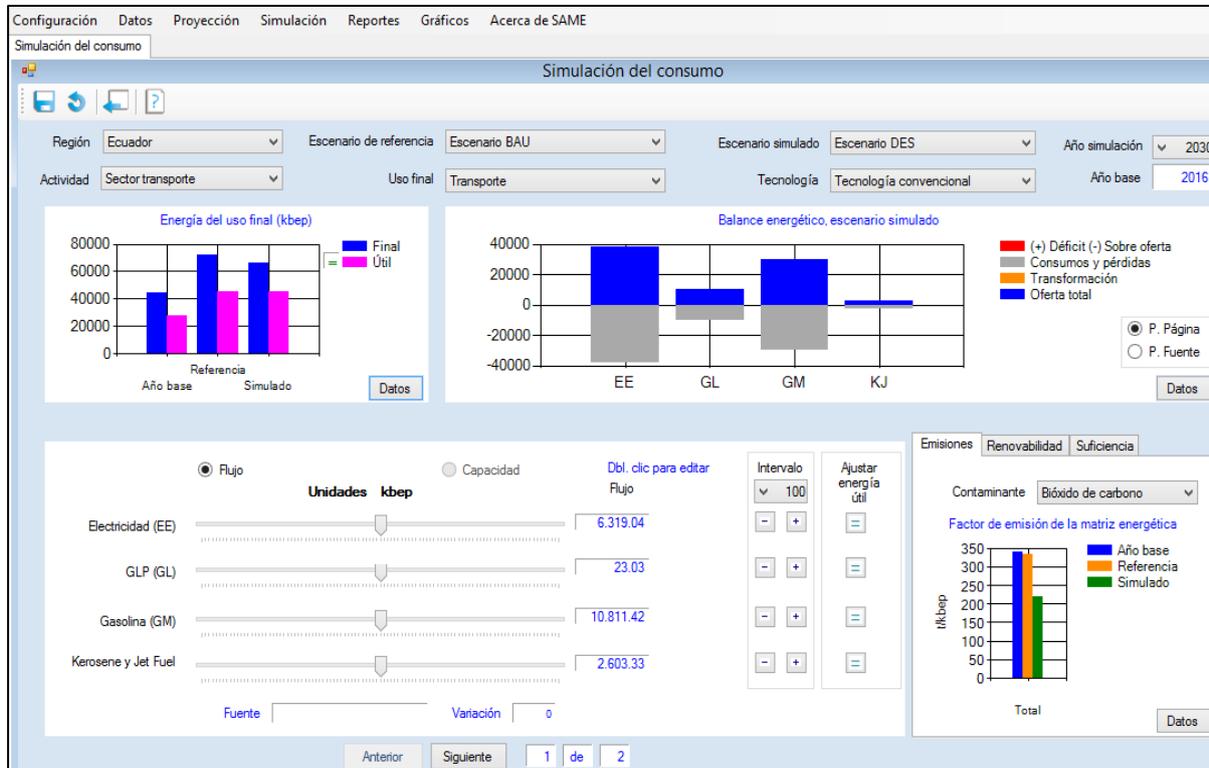
El modelo SAME es “un sistema computacional, provisto de un tablero de control virtual, que permite simular diferentes escenarios del balance energético de un país o una región, para un año determinado” (OLADE 2013, 3). Los cambios que se realizan en los flujos del balance energético permiten obtener indicadores energéticos, socio-económicos y ambientales. El SAME se compone de 7 módulos: *Archivo, Configuración, Datos, Proyección, Simulación, Reportes y Gráficos*.

En el *módulo Archivo* se crea el caso de prospectiva energética. En el *módulo Configuración* se define el año base del estudio, el horizonte de proyección y el nivel jerárquico de los escenarios. Asimismo, se activa las cadenas energéticas de oferta, transformación, consumo final y consumo propio y pérdidas. En el *módulo Datos* se ingresan los datos del balance energético correspondientes al año base, capacidades instaladas, reservas probadas de fuentes renovables, potenciales de fuentes no renovables, costos unitarios de la oferta (variables, fijos y de inversión) y datos de las variables exógenas como el PIB, población y cobertura eléctrica (OLADE 2017a).

El *módulo Proyección* ayuda a realizar la proyección de la demanda, oferta y costos nivelados de energía (ponderados bajo el mismo criterio). La proyección de la demanda se la puede realizar a partir de tasas de crecimiento anual (métodos analíticos o econométricos) o mediante coeficientes técnicos (derivados de los balances energéticos históricos). En la proyección de la demanda también se implementa las medidas de eficiencia energética en el año final de la proyección y luego se utiliza un escenario evolutivo para la proyección. La proyección de la oferta se la realiza mediante coeficientes técnicos o de acuerdo a restricciones de prioridad o capacidad. Los planes de expansión se requieren en la oferta para ingresar el cronograma de instalación-retiro de las capacidades energéticas que ingresarán o retirarán a lo largo de la prospectiva.

En el *módulo de Simulación* se puede realizar modificaciones que reflejen la implementación de políticas energéticas en los diferentes sectores de consumo. Finalmente, en los *módulos Reportes y Gráficos* se visualiza los resultados de la simulación (ver gráfico 3.2.).

Gráfico 3.2. Descripción general del modelo SAME



Fuente: Simulación SAME

Las proyecciones de la oferta y la demanda y la simulación permiten realizar un análisis comparativo de los diferentes escenarios en función de indicadores energéticos socio-económicos y ambientales. Entre ellos se tiene: “estructuras de las matrices de oferta de energía, generación eléctrica y consumo final, eficiencia energética, factores de emisión de GEI, costos unitarios de producción de energía, reservas y potenciales remanentes, índice de autarquía o autosuficiencia energética, entre otros” (OLADE 2017c, 31).

Entre las ventajas más importantes que se consideró para que este modelo sea la base metodológica de la investigación es que la herramienta permite:

- Realizar de manera simple proyecciones de estados factibles y coherentes de la matriz energética para un año futuro, con base al estado actual de dicha matriz.
- Actualizar los resultados de estudios de prospectiva simulando el efecto de nuevas hipótesis y políticas de desarrollo.

- Cuantificar los beneficios económicos y ambientales de una diversificación de la matriz energética o un cambio en los patrones de consumo final.
- Analizar alternativas para enfrentar eventos críticos, como agotamiento de reservas, restricción o encarecimiento de fuentes energéticas importadas, entre otros (OLADE 2017a).

En definitiva, este modelo es muy versátil para realizar una prospectiva energética. Se puede generar de manera ágil escenarios tendenciales, que se construyen mediante una proyección razonable de las tendencias del presente; evolutivos, que ocurren cuando suceden hechos históricamente atípicos; o de ruptura, los cuales asumen una “discontinuidad en una o más de las variables significativas como por ejemplo el descubrimiento de grandes reservas de petróleo en un país no productor que podría modificar la energía importada en su oferta o desincentivar el desarrollo de energías renovables” (OLADE 2017a, 88). A su vez, el modelo permite simular políticas de diversificación de la matriz de consumo final y de generación eléctrica, medidas de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y programas de eficiencia energética (OLADE 2018).

3.3. Presentación de los escenarios energéticos

De acuerdo con Shell (2008, 8) “los escenarios son narraciones de futuros posibles, con el propósito de hacer mejores elecciones en el presente”. Mediante la construcción de escenarios energéticos se puede explorar cuales son los desafíos del futuro que tiene cada país tanto en producción y consumo e implementar políticas para toma de decisiones. En la presente investigación se realizó la elaboración de escenarios acorde con Godet y Durance (2009). Se consideró tres fases:

- Fase 1. Construcción del escenario base, el cual representa un papel fundamental en la construcción de los demás escenarios ya que estos adquieren la mayoría de variables del escenario base.
- Fase 2. Exploración de los futuros posibles a partir de una lista de premisas.
- Fase 3. Elaboración de escenarios y su evolución.

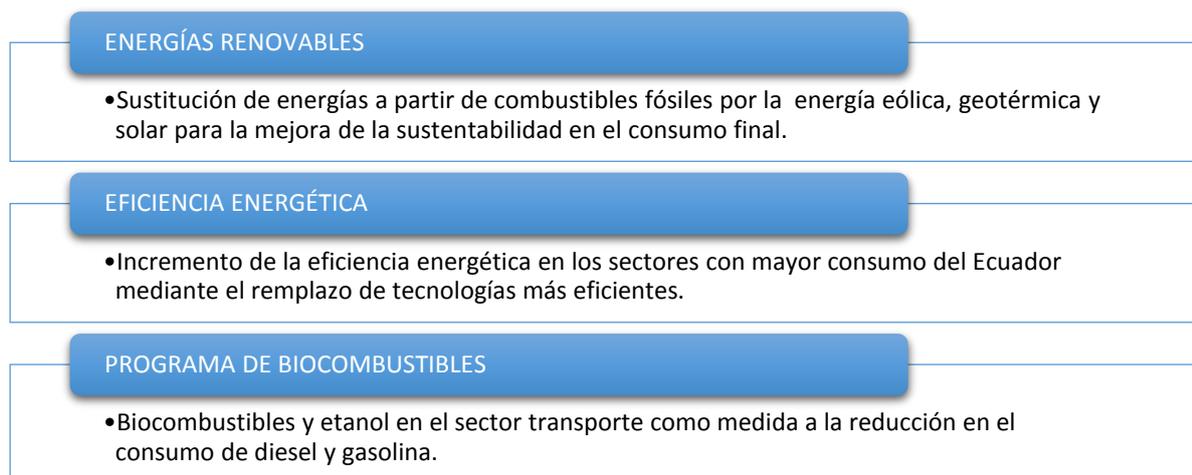
A partir de las fases indicadas y con el modelo de simulación SAME como herramienta metodológica se construyeron tres escenarios energéticos para el Ecuador. Estos fueron:

3.3.1. Escenario tendencial “Business as usual” (BAU). - es un escenario de tipo tendencial que consideró una evolución progresiva del sector energético con influencia del pasado. Cada uno de los flujos en la cadena energética mantienen los patrones de crecimiento o decrecimiento de un período histórico. Para la proyección de la demanda de energía eléctrica se utilizó información tanto del histórico como del *PME 2016-2025* con la finalidad de obtener una demanda de energía por cada sector. El cálculo de la demanda de las demás fuentes se basó en su historial. Además, se asume la ausencia de intervenciones de política que ayuden a diversificar la matriz energética del país. Este escenario sirvió como base para el análisis comparativo del escenario EPA y DES que se describe a continuación.

3.3.2. Escenario de políticas actuales (EPA). - este escenario considera las mismas premisas del escenario BAU para la proyección de la demanda. Sin embargo, en la proyección de la oferta energética tomó en consideración la capacidad real de instalación/retiro de potencia establecida en el *PME 2016-2025*.

3.3.3. Escenario de desarrollo energético sostenible (DES). - se consideró la penetración acelerada de las fuentes de energía renovable, el aumento de la eficiencia energética e incremento en el acceso a los servicios energéticos modernos como biocombustibles. Además, se estimó una mayor participación de la electricidad en los usos finales, es decir un incremento del uso de energía renovable para la generación eléctrica (ver gráfico 3.3.).

Gráfico 3.3. Premisas del escenario de desarrollo energético sostenible



Fuente: OLADE 2017c y MEER 2017a

Respecto al programa de biocombustibles, la IEA (2014, 329) afirma que “los biocombustibles son una opción para un futuro en el que se disminuirá el consumo de

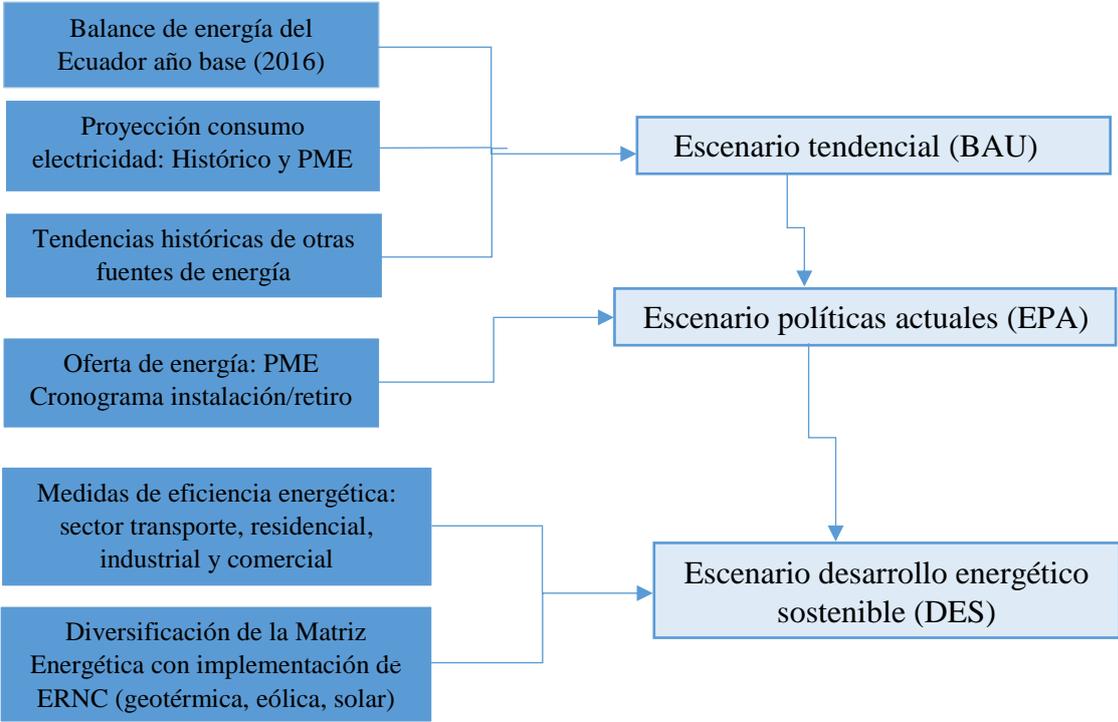
combustibles fósiles, ser capaces de producirlos y abastecer la demanda nacional es una oportunidad para expandir el sector industrial”. El uso de este biocarburante sería una apuesta para disminuir la importación de derivados de petróleo en el sector transporte, pero a su vez, puede provocar un encarecimiento de su materia prima como el maíz, el azúcar o el trigo.

El objetivo principal de este escenario fue analizar los resultados de una simulación integral de la matriz energética de Ecuador al año 2030. Se basó en dos parámetros:

- Por el lado de la demanda, la proyección se realizó con la aplicación de programas de eficiencia energética focalizados en los sectores de mayor consumo: transporte, industrial, residencial y comercial. La información se recopiló del *PLANEE*.
- Por el lado de la oferta, la proyección consideró el desarrollo profundo de las ERNC, en específico la energía solar, eólica y geotérmica. Los datos se recopilaron del *PME*.

A continuación, se presenta de forma detallada los datos de entrada utilizados en la construcción de los escenarios energéticos simulados en la prospectiva (ver gráfico 3.4.)

Gráfico 3.4. Prospectiva del Sector Energético del Ecuador



Fuente: OLADE 2018

3.4. Descripción de indicadores energéticos, socio-económicos y ambientales

Trabajos realizados por las Naciones Unidas, la IEA, OLADE y otros organismos contemplan aspectos energéticos, socio-económicos y ambientales como indicadores del sector energético. La energía está ligada directamente con el desarrollo económico de forma tal que la capacidad instalada debe abastecer la demanda y evitar pérdidas financieras. El aspecto social se sustenta en la necesidad de tener acceso a la generación eléctrica con tarifas asequibles. Finalmente, la preservación del medio ambiente es necesaria para apostar por un desarrollo sostenible. A continuación, se describe los indicadores que se analizó en los diferentes escenarios energéticos:

Indicadores energéticos

- Estructura de la oferta y demanda o consumo de energía. - mediante este indicador se conoce el porcentaje de participación de cada fuente energética respecto a la oferta y al consumo total de energía.
- Ahorro en el consumo de energía por sector. - este indicador permite conocer el ahorro neto de energía en cada sector de consumo y a su vez se puede determinar la variación del aporte por fuentes de energía.
- Consumo energético total per cápita. - se lo obtiene al dividir el consumo energético total del país respecto a la población. El consumo eléctrico per cápita se desglosa de este indicador.
- Alcance de las reservas probadas de recursos fósiles y potenciales vs capacidad instalada de las energías primarias. - es útil para conocer si los escenarios planteados son factibles con las reservas actuales de energía renovable y no renovable.

Indicadores socio-económicos

- Intensidad energética final. - este indicador es considerado tradicionalmente como un indicador macroeconómico de eficiencia energética. “La intensidad energética relaciona el consumo final de energía y el PIB, si se lo mide a nivel nacional, o el consumo energético sectorial y el valor agregado neto sectorial, si se lo define para un sector económico en particular” (OLADE 2017d, 122). Se interpreta como la cantidad de energía que se consume por cada dólar de la producción que se genera, Entonces, la economía o el sector económico que se analiza será más eficiente mientras utilice menor cantidad de energía por cada dólar de producción.

- Costo nivelado de la energía eléctrica (LCOE). - este es un indicador que “representa el costo de generación de cada unidad de energía eléctrica (USD/MWh)” (OLADE 2017c, 66), para su cálculo se integra costos fijos y variables, costos de inversión, operación, mantenimiento y combustible y se analiza como un valor presente (tasa de descuento del 10 %) por unidad de energía producida (Zhu *et al.* 2015).
- Índice de renovabilidad de la matriz de oferta interna total de energía. - este índice es “la relación entre el componente renovable de dicha oferta y el valor total de la misma” (OLADE 2017c, 61). Otro indicador análogo a este es el índice de renovabilidad de generación eléctrica.
- Índice de autarquía energética. - este índice se calcula como “la relación entre la producción primaria de energía y la oferta total interna de energía” (OLADE 2017c, 62). Mediante este indicador, se puede conocer si un país es autosuficiente energéticamente, es decir, si la oferta de energía primaria tiene la capacidad de cubrir la demanda interna sin necesidad de importaciones.

Indicadores ambientales

- Participación de las ERNC en la oferta energética total. - permite conocer el porcentaje que representan las ERNC, en específico la energía eólica, solar, geotérmica, respecto a la oferta total de energía.
- Emisiones totales de CO₂. - este indicador describe las emisiones de CO₂ por energía generada. Permite analizar el incremento del impacto ambiental de la matriz energética del país. Otro indicador que se desprende de este es el factor de emisiones de CO₂ de la oferta total de energía y el factor de emisión de la generación eléctrica.
- Emisiones de gases de efecto invernadero per cápita. - el resultado se lo obtiene al dividir el volumen total de gases de efecto invernadero respecto a la población (OLADE 2017d).

Capítulo 4

Análisis de resultados

En este capítulo se exponen los resultados del análisis de la prospectiva energética. Se construyeron tres escenarios energéticos: escenario tendencial (BAU), escenario de políticas actuales (EPA) y escenario de desarrollo energético sostenible (DES), cada uno de ellos con horizonte al año 2030. Después, se realiza un análisis comparativo del escenario DES respecto al escenario BAU y EPA. La comparación de los escenarios permite contrastar la evolución de las matrices de consumo final, generación eléctrica y consumo total de energía. Se concluye con la discusión de los indicadores energéticos, socio-económicos y ambientales.

El objetivo de esta comparación de escenarios es conocer si los planes de eficiencia energética y el impulso de las energías renovables no convencionales ayudan a disminuir la dependencia de las importaciones de energéticos y si el Ecuador puede alcanzar una autosuficiencia energética en el año 2030. Los resultados de las previsiones de la matriz energética tienen como objetivo facilitar la toma de decisiones coherentes y oportunas.

4.1. Construcción del escenario tendencial: línea base de la prospectiva (BAU)

La construcción de este escenario consideró que la demanda y la oferta de energía tendrán un incremento tendencial hasta el año 2030. El incremento de la demanda a lo largo de la proyección, mantiene los mismos porcentajes en promedio de consumo en los diferentes sectores económicos. Asimismo, la proyección de la oferta considera un incremento con la finalidad de satisfacer la demanda, pero con los mismos porcentajes de las diferentes fuentes de energía primaria.

4.1.1. Proyección del consumo final de energía

Tasas de crecimiento promedio anual del consumo de cada fuente

Con base en los planes referenciales de expansión disponibles en el *PME*, así como de los datos del consumo final de energía del período entre los años 2006 y 2015, se obtuvieron las tasas de crecimiento promedio anual del consumo de cada fuente (ver tabla 4.1.). Para el análisis de los datos se utilizó una regresión logarítmica y se aplicó mínimos cuadrados ordinarios. Luego, se realizó la proyección del consumo de energía para cada uno de los sectores y las fuentes de energía para el período de estudio entre el año 2016 al año 2030.

Tabla 4.1. Tasas de crecimiento promedio anual del consumo por fuente del Ecuador (%)

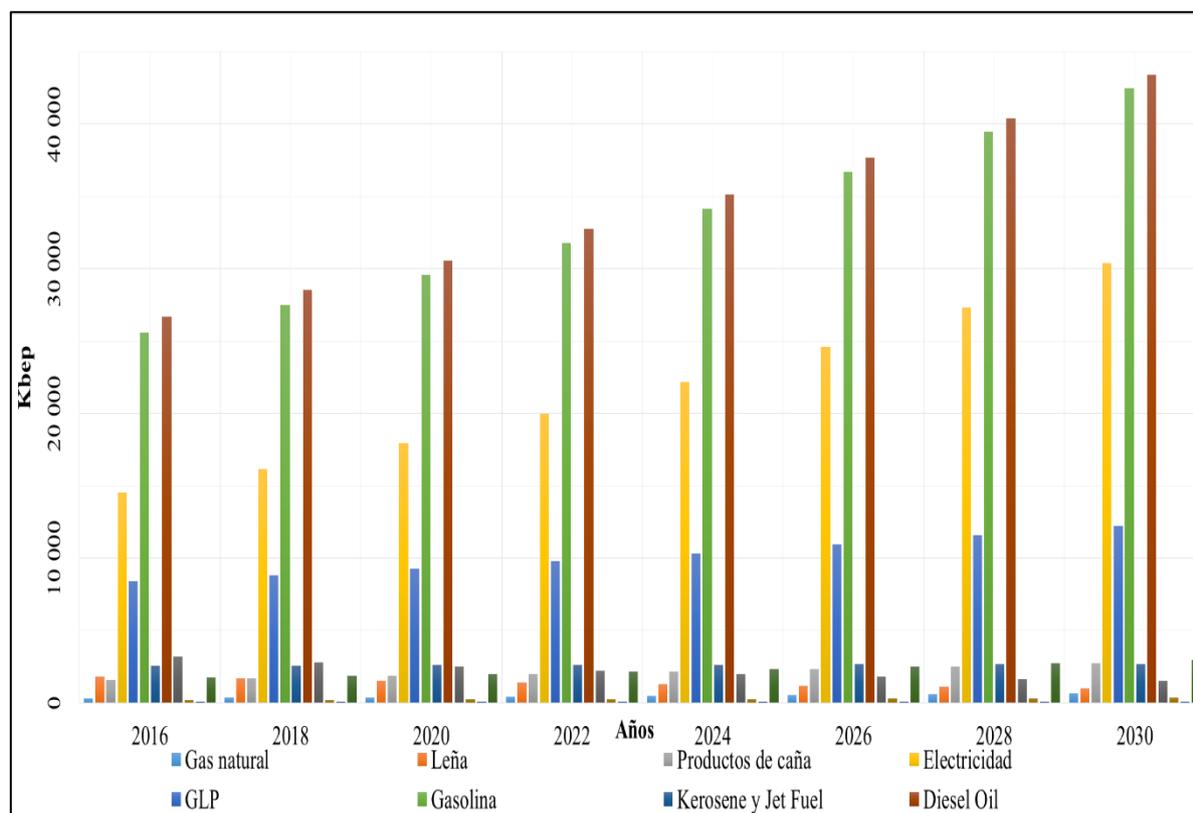
Sector	Gas natural	Leña	Productos de caña	Electricidad	GLP	Gasolina	Kerosene y Jet Fuel	Diesel Oil	Fuel Oil	Etanol	Biodiesel	No energético
Sector transporte				0,00	-5,45	4,00	0,46	4,00	-7,48	4,00	2,00	
Sector industrial	5,00	-3,00	3,85	5,25	6,00	2,19	-2,06	0,46	-4,75			
Sector residencial	3,00	-4,41		5,43	3,03		-27,47		0,00			
Sector comercial y servicios				5,51	0,00	0,00	0,00	4,50	3,82			
Sector agro pesca y minería				0,00	6,00	4,00	0,00	0,00				
Sector construcción				5,65	-1,89	2,35		4,00	0,74			
Consumo no energético												3,88

Fuente: OLADE 2018 y MEER 2017a

Consumo final por sectores y fuentes

En el siguiente gráfico, se visualiza la proyección del consumo final de cada fuente de energía para el escenario BAU (ver gráfico 4.1.). En particular se observa que la participación de la electricidad en la matriz de consumo final se incrementa. Del mismo modo, el gas natural, gasolina, etanol, biodiesel y productos de caña sufren un incremento. El consumo de leña, kerosene y Jet Fuel y Fuel Oil decrece.

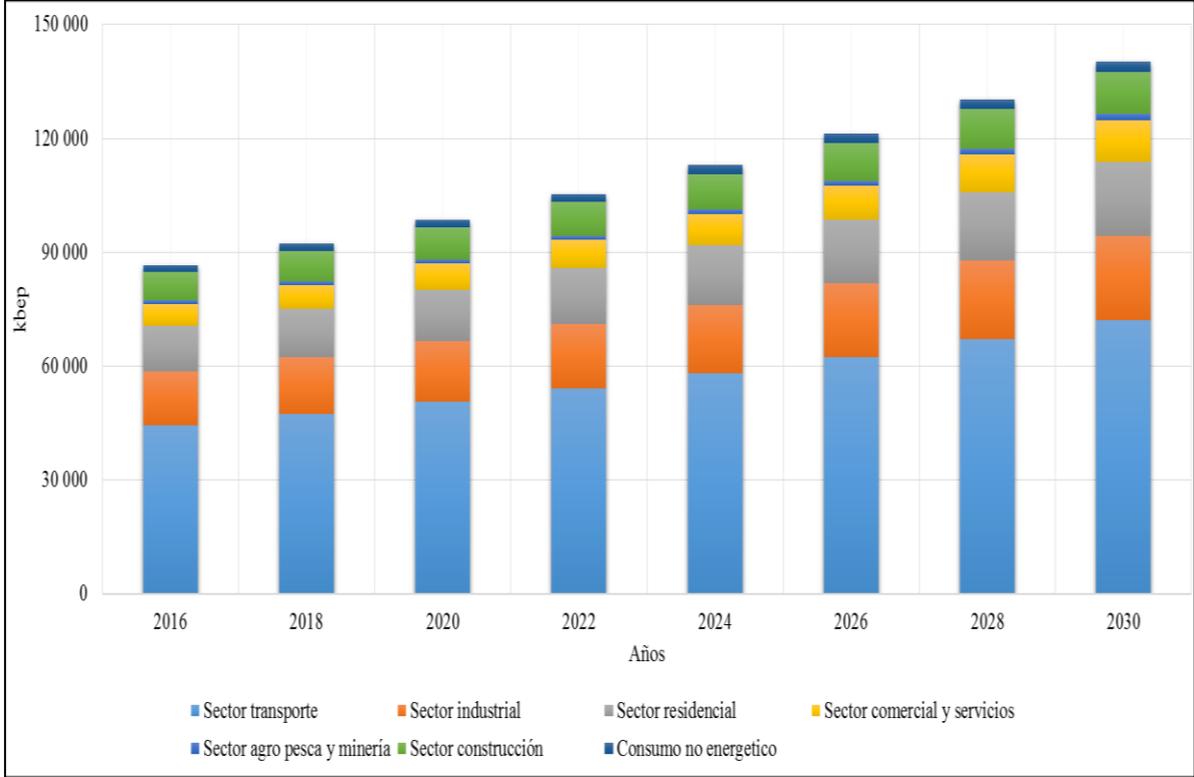
Gráfico 4.1. Consumo final proyectado por fuentes del Ecuador, escenario BAU



Fuente: Simulación SAME

En la proyección, cada sector del consumo muestra un incremento tendencial de acuerdo con las tasas de crecimiento calculadas (ver gráfico 4.2.).

Gráfico 4.2. Consumo final proyectado por sectores del Ecuador, escenario BAU



Fuente: Simulación SAME

Para el año 2030 el consumo energético en el sector transporte tendrá una participación de 51,44 %, le sigue el sector industrial con 15,83 %, el residencial con 13,84 % y el de comercio y servicios con 7,86 %. Estos son los cuatro sectores de mayor consumo en la matriz energética, por esta razón son de interés en la aplicación de medidas de eficiencia energética.

De la misma manera, el diésel, gasolina, GLP, y electricidad serán las fuentes de mayor consumo en el país para el año 2030 de acuerdo con esta proyección, de ahí la necesidad de diversificar la matriz energética mediante ERNC, en específico la energía eólica, solar y geotérmica, y disminuir el consumo de las fuentes provenientes del petróleo para producir una menor cantidad de emisiones de CO₂ y reducir la importación de derivados (ver tabla 4.2.).

Tabla 4.2. Consumo final proyectado por sectores, grupo energético y fuentes del Ecuador (2030), escenario BAU

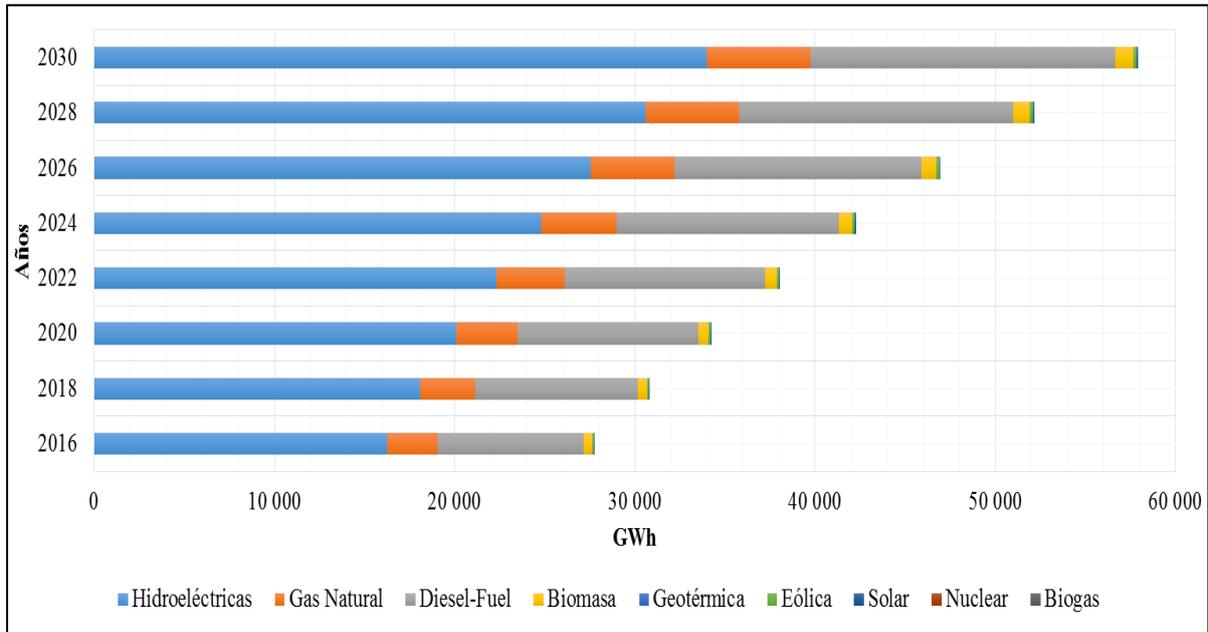
Sector	2030 (kbep)	2030 (%)	Fuente	2030 (kbep)	2030 (%)
Sector transporte	72 189,22	51,44	Gas natural	635,38	0,45
Sector industrial	22 217,39	15,83	Carbón mineral	0,00	0,00
Sector residencial	19 421,21	13,84	Solar	0,00	0,00
Sector comercial y servicios	11 030,32	7,86	Leña	1 011,27	0,72
Sector agro pesca y minería	1 513,77	1,08	Productos de caña	2 706,12	1,93
Sector construcción	11 029,72	7,86	Electricidad	30 372,46	21,64
Consumo no energetico	2 939,53	2,09	GLP	12 251,85	8,73
TOTAL	140 341,20	100,00	Gasolina	42 468,79	30,26
			Kerosene y Jet Fuel	2 695,48	1,92
Grupo energético	2030 (kbep)	2030 (%)	Diesel Oil	43 412,85	30,93
Petróleo y derivados	105 269,80	75,01	Fuel Oil	1 501,28	1,07
Gas natural	635,38	0,45	Coque	0,00	0,00
Carbón mineral y coque	0,00	0,00	Carbón vegetal	0,00	0,00
Biomasa	4 063,54	2,90	Etanol	342,20	0,24
Otras renovables	0,00	0,00	Biodiesel	3,95	0,00
Electricidad	30 372,46	21,64	No energético	2 939,53	2,09
TOTAL	140 341,20	100,00	TOTAL	140 341,20	100,00

Fuente: Simulación SAME

Proyección de la generación eléctrica

El consumo total proyectado de la electricidad se utilizó como dato de entrada para la simulación de la generación eléctrica. A su vez, para cubrir la demanda de energía eléctrica, en cada año de proyección, se consideró la capacidad instalada de generación y el porcentaje de pérdidas y consumos propios. Estos datos se los obtuvo del balance energético ingresado en el año 2016. Como premisa, el escenario BAU, mantiene fijo el porcentaje de pérdidas (pérdidas debido a la antigüedad de los equipos e infraestructura de las redes de distribución o hurto de energía e ineficiencia de los sistemas de control), así como los coeficientes técnicos de los consumos propios de las diferentes fuentes de energía. Es decir, no se aplicó ninguna política que pueda disminuir las pérdidas o lograr un consumo propio eficiente (ver gráfico 4.3.).

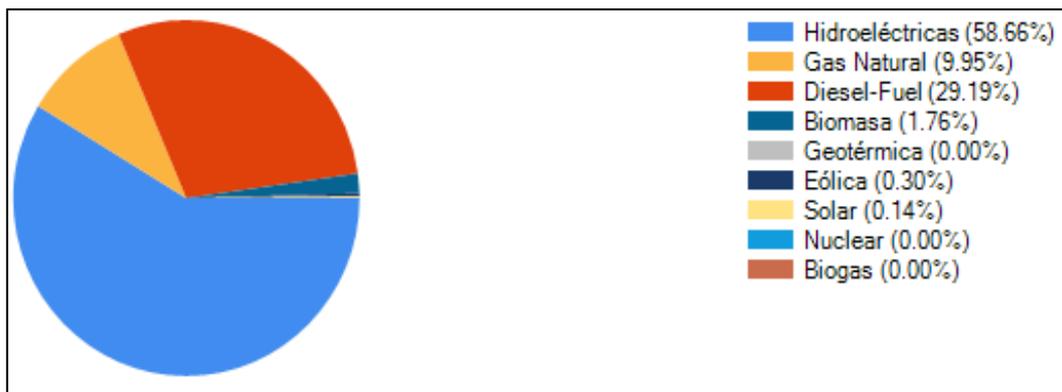
Gráfico 4.3. Proyección de generación eléctrica por fuente del Ecuador, escenario BAU



Fuente: Simulación SAME, escenario BAU

Para el año 2030 las hidroeléctricas proporcionarán cerca del 59 % de electricidad bajo el escenario BAU, el diésel-fuel tendrá un aporte del 29,19 % y el gas natural contribuirá con un 9,95%. La participación de las energías renovables en la generación es casi nula (ver gráfico 4.4.).

Gráfico 4.4. Matriz de generación eléctrica por fuente del Ecuador (2030), escenario BAU



Fuente: Simulación SAME, escenario BAU

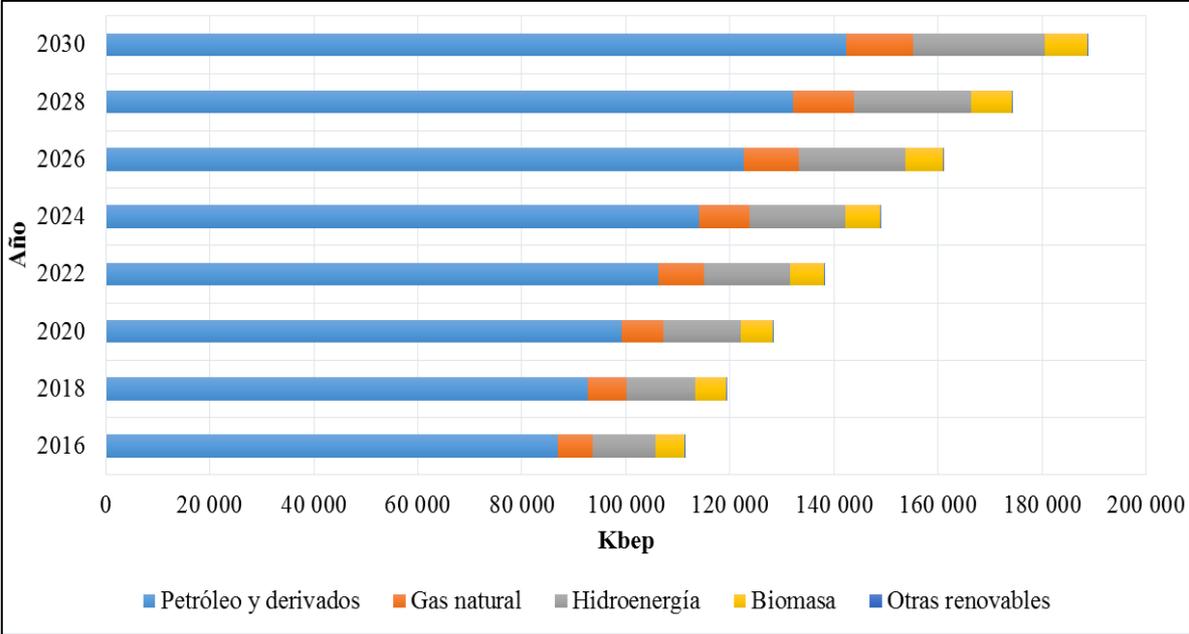
4.1.2. Proyección de la oferta interna total de energía

Para este escenario la oferta total de energía sigue un incremento tendencial hasta el año 2030, la oferta crece para satisfacer la demanda de energía, pero en términos relativos cada una de

las fuentes tiene su mismo peso (ver gráfico 4.5.). Para la proyección de la oferta se usó los siguientes coeficientes técnicos:

- a) Estructura de la oferta primaria y secundaria (componente positivo y negativo)
- b) Relación de los componentes de la oferta total de energía por cada fuente.
- c) Eficiencia de las actividades de transformación
- d) Estructura de los insumos de transformación
- e) Estructura de los productos de transformación
- f) Factores de planta
- g) Prioridad de la oferta primaria y secundaria (OLADE 2013).

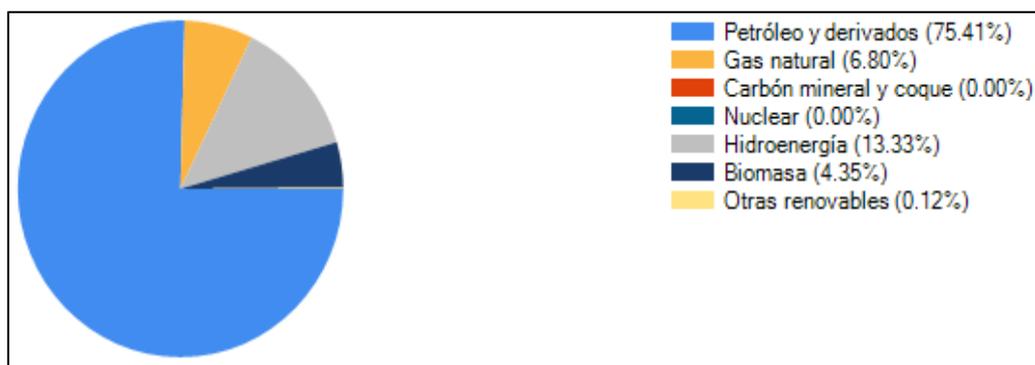
Gráfico 4.5. Proyección de la oferta total de energía por fuente del Ecuador, escenario BAU



Fuente: Simulación SAME

La oferta total de energía para el año 2030 seguirá con mayor dependencia en el petróleo y sus derivados con algo más del 75 %, la hidroenergía con un aporte del 13,33 % y el gas natural con el 6,80 %. La biomasa es la única energía no renovable que aporta a la oferta total con el 4,35 %, las otras renovables (entre las que están las ERNC y el biogás) tienen un aporte menor al 1%. (ver gráfico 4.6.). De acuerdo al escenario BAU, la importación de energías secundarias pasará de 42 348 kbep en el año 2016 a 69 199 kbep en el año 2030.

Gráfico 4.6. Proyección de la oferta total de energía del Ecuador (2030), escenario BAU



Fuente: Simulación SAME

Este escenario es muy útil para realizar posteriormente una comparación de las emisiones de CO₂ con el escenario EPA y DES, pues al no aplicar ninguna política de eficiencia energética o incentivar la diversificación de fuentes, en el escenario BAU aumentará las emisiones de CO₂ de forma exponencial.

4.2. Construcción del escenario de políticas actuales (EPA)

Para la construcción de este escenario se mantuvo las mismas premisas que se utilizó en el escenario BAU para la proyección del consumo final. Por el contrario, para el pronóstico de la generación eléctrica y oferta total de energía se consideró lo siguiente:

4.2.1. Orden de prioridad de despacho en la generación eléctrica

“El modelo de prospectiva utilizado en la proyección (SAME) es un modelo de simulación y no de optimización” (OLADE 2017a, 204). Para la simulación de la oferta total de energía del escenario BAU se utilizó los coeficientes técnicos, por el contrario, en el escenario EPA y en el escenario DES (a analizar más adelante), se consideró la prioridad de despacho para simular la proyección. En efecto, para cubrir la potencia instalada y la demanda de energía anual del Ecuador, en los escenarios EPA y DES, se utilizó un orden prioritario de despacho de cada fuente de generación eléctrica. La prioridad de despacho mencionada se indica a continuación (ver tabla 4.3.).

Tabla 4.3. Orden de la prioridad de despacho de las centrales eléctricas del Ecuador, escenario EPA y DES

Prioridad de la oferta de electricidad escenario EPA y DES		
Orden	Actividad	Tecnología
1	Centrales eléctricas	Nuclear
2	Centrales eléctricas	Geotérmica
3	Centrales eléctricas	Hidroeléctricas
4	Centrales eléctricas	Eólica
5	Centrales eléctricas	Solar
6	Centrales eléctricas	Biomasa
7	Centrales eléctricas	Biogas
8	Centrales eléctricas	Gas Natural
9	Centrales eléctricas	Diesel-Fuel
10	Importación	Tecnología general

Fuente: Simulación SAME

Cada energía es despachada hasta alcanzar su máxima prioridad de producción en forma secuencial. El orden de despacho consideró que existen energías gestionables y no gestionables. Las energías provenientes de los recursos geotérmicos, hidráulicos, eólicos y solares se despachan primero por ser energías no gestionables, es decir se generan cuando hay el recurso. El gas natural y diésel se despachan al final. Del mismo modo, se consideró el costo de generación, donde las hidroeléctricas tienen el menor costo. La energía nuclear, se ubica en primer lugar por el aspecto económico y por ser no gestionable, aunque al momento el Ecuador no produce energía a partir de esta fuente.

4.2.2. Proyección de la generación eléctrica

Este escenario, ya añade políticas que impulsan una transición hacia una nueva matriz energética con un incremento en la capacidad instalada de centrales hidroeléctricas y un pequeño aporte de la energía eólica y solar. Es decir, el EPA se rige en el cronograma de instalación/retiro que indica el *PME*, de ahí que los planes de expansión presentes en el *PME* se asumen como una variable exógena al modelo. El cronograma instalación/retiro nos indica, que, a lo largo de la prospectiva, se puede implementar proyectos energéticos que aumenten la capacidad instalada actual, o se pueden retirar algunas plantas que están generando energía en la actualidad (ver tabla 4.4.).

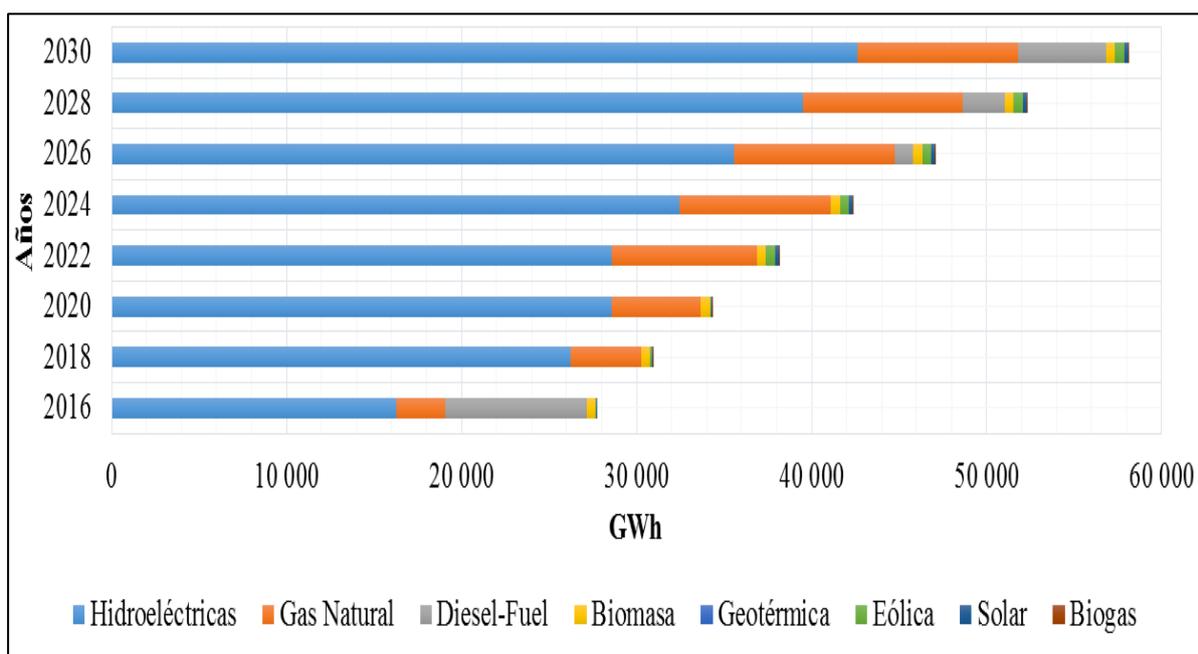
Tabla 4.4. Cronograma de instalación/retiro del Ecuador (MW), escenario EPA

Año \ Tecnología	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Hidroeléctricas	806,45	186,22					733,60			600,00		740,00		600,00
Gas Natural	187,00													
Diesel-Fuel														
Biomasa														
Geotérmica														
Eólica						100,00								
Solar						100,00								
Nuclear														
Biogas	3,00													

Fuente: ARCONEL y MEER 2017a

En comparación con el año base (2016), al aplicar las políticas presentes en el *PME*, en el escenario EPA se evidencia un aumento reducido en la participación de las fuentes de ERNC a lo largo de la proyección. La hidroenergía incrementa su participación y continúa como eje fundamental de la generación eléctrica. Por el contrario, el diésel-fuel reduce su aporte hasta el año 2026, luego vuelve a incrementarse para satisfacer la demanda creciente de energía (ver gráfico 4.7.).

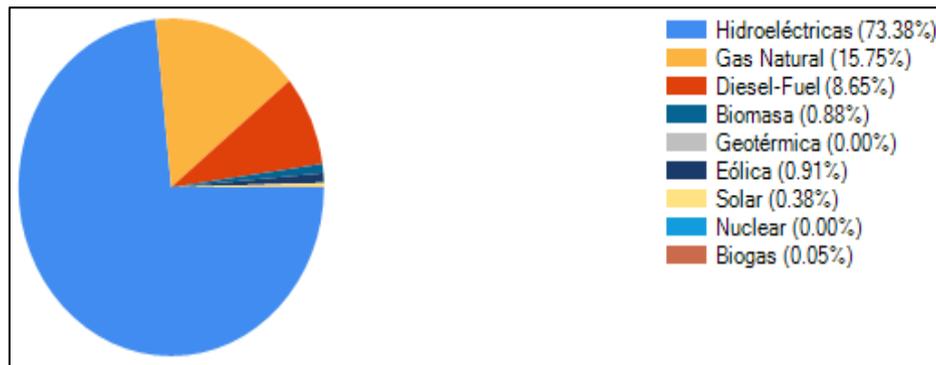
Gráfico 4.7. Proyección de generación eléctrica por fuente del Ecuador, escenario EPA



Fuente: Simulación SAME, escenario EPA

En este escenario, para el año 2030 las hidroeléctricas proporcionarán cerca del 73 % de electricidad, la dependencia de derivados del petróleo y el gas natural será alrededor del 25 %. La participación de las energías renovables en la generación eléctrica será mayor al 1 %, pero su aporte no permite pensar en una matriz diversificada que ayude a mitigar el impacto ambiental y reduzca la dependencia de las importaciones de derivados de petróleo (ver gráfico 4.8.).

Gráfico 4.8. Matriz de generación eléctrica por fuente del Ecuador (2030), escenario EPA

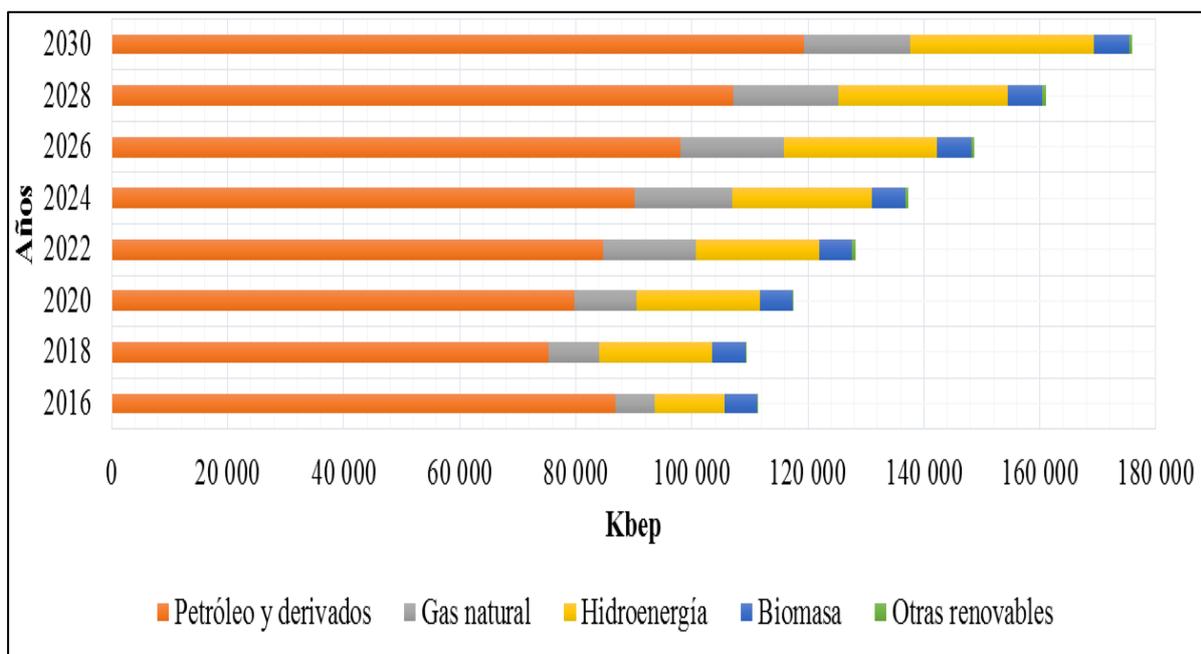


Fuente: Simulación SAME

4.2.3. Proyección de la oferta interna total de energía

Para este escenario, las fuentes de energía renovable (hidroenergía) presentan un leve incremento en su participación a lo largo del período de proyección. En el escenario de políticas actuales la oferta de energía primaria a partir del petróleo y gas natural mantiene su importancia, lo que evidencia una dependencia de estos recursos no renovables y permite deducir que se requiere una implementación más fuerte por parte de las ERNC (ver gráfico 4.9.). Es decir, que los proyectos en el *PME 2016-2025* se proyectan en función de satisfacer la demanda de energía, pero la diversificación no es visible. El Ecuador seguirá dependiendo de las importaciones de derivados de petróleo para satisfacer los sectores de mayor consumo, en particular, el sector transporte y residencial. Para el año 2030, las importaciones de energía secundaria, en el escenario EPA, serán de 56 842 kbp. Si se compara con el escenario BAU, las importaciones para el 2030, solo habrán reducido un 17,8 %.

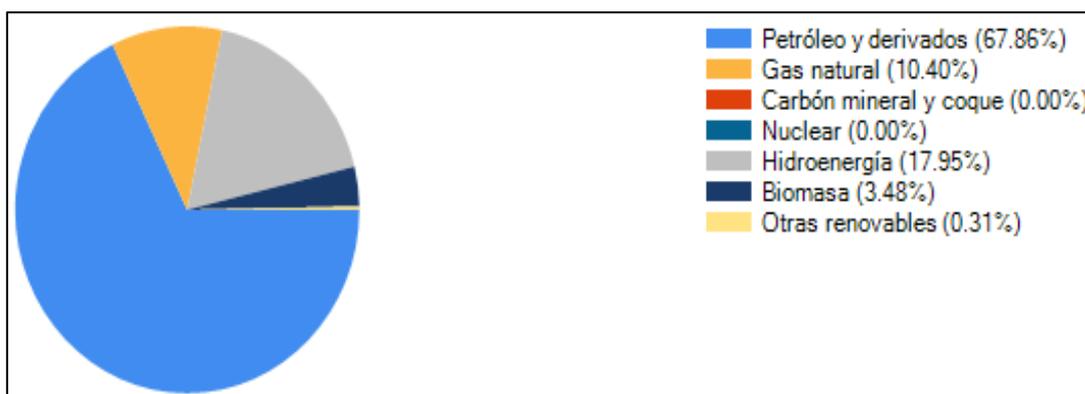
Gráfico 4.9. Proyección de la oferta total de energía por fuente del Ecuador, escenario EPA



Fuente: Simulación SAME

Al considerar el nuevo cronograma de instalación/retiro y la prioridad de despacho descrita, la oferta total de energía para el escenario EPA en el año 2030 seguirá dependiendo del petróleo y sus derivados con el 67,86 %, la hidroenergía estará presente con un aporte de 17,95 %, el gas natural con el 10,40 % y la biomasa con el 3,48 %. Las energías renovables como la eólica, geotérmica y solar tendrán una participación menor al 1% (ver gráfico 4.10.).

Gráfico 4.10. Proyección de la oferta total de energía por fuente del Ecuador (2030), escenario EPA



Fuente: Simulación SAME

4.3. Construcción del escenario de desarrollo energético sostenible (DES)

Para el proceso de construcción del escenario DES se tuvo en consideración políticas que incentivan un mayor aporte de las energías renovables no convencionales por el lado de la oferta y medidas de eficiencia energética por el lado de la demanda. En el escenario EPA ya se observa un aporte de las energías renovables en la diversificación de la matriz energética con el *PME*, no obstante, en el escenario DES el aporte tanto de la energía eólica, solar y geotérmica se acentúa.

La simulación de la matriz energética para este escenario se la realizó mediante la implementación de las medidas de eficiencia energética en el año 2030. Luego, con la ayuda del modelo SAME, se generó una trayectoria evolutiva a partir del año 2016 hasta el año 2030. La simulación fue de la demanda y la oferta energética. Finalmente, para confirmar la validez del modelo, se verificó que la oferta de petróleo y gas natural no superase las reservas reales que tiene el Ecuador para el período de proyección y que la oferta de energías renovables guardara coherencia con los potenciales expuestos.

4.3.1. Proyección del consumo final de energía

Premisas aplicadas

Las medidas de eficiencia energética son válidas si permiten mantener los niveles de confort de los hogares y la productividad de cada sector económico. Las políticas que se direccionen al ahorro en el consumo energético deben asegurar que la energía útil registrada (energía disponible al consumidor luego de su última conversión) sea la misma a partir de la aplicación o no de estas políticas. Cada medida de eficiencia energética utilizada en el escenario DES se enfocó en provocar un ahorro neto del consumo de energía final. La diferencia en el escenario DES entre la energía final demandada y el ahorro neto debe cubrir la misma cantidad de energía útil demandada en el escenario BAU y EPA.

Los sectores de mayor consumo en el Ecuador son: transporte, industrial, residencial y comercial. Por ello, las medidas de eficiencia energética se aplicaron a estos sectores.

Las medidas que se simuló en la prospectiva se detallan como sigue:

- Sustitución de fuentes menos eficientes por fuentes más eficientes.
- Sustitución de tecnologías convencionales por tecnologías eficientes.

- Contribución de la energía solar térmica en el calentamiento de agua (sector residencial) con el objetivo de disminuir el consumo de GLP, gas natural y electricidad (ver tabla 4.5) (OLADE 2017c).

Tabla 4.5. Medidas de eficiencia energética aplicadas al Ecuador, escenario DES

Transporte	Industrial	Residencial	Comercial
<ul style="list-style-type: none"> • 10 % de diésel por electricidad • 20 % de gasolina por electricidad • 20 % de gasolina por etanol • 10 % de diésel por biodiésel • 50 % de diésel por diésel eficiente • 50 % de gasolina por gasolina eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • 10 % de diésel por electricidad • 50 % de leña por GLP • 50 % de electricidad por electricidad eficiente • 50 % de diésel por diésel eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • 50 % de leña por GLP • 20 % de electricidad por solar • 20 % de GLP por solar • 50 % de electricidad por electricidad eficiente • 50 % de leña por leña eficiente • 50 % de GLP por GLP eficiente 	<ul style="list-style-type: none"> • 50 % de electricidad por electricidad eficiente • 50 % de diésel por diésel eficiente

Fuente: MEER 2017a y MEER 2017b

El balance energético en términos de energía final es la única fuente de información detallada que se posee en la región. Los balances energéticos a nivel de usos finales o de energía útil no se encuentran consolidados por la dificultad en la recolección de datos confiables y sus costos. Por esta razón, el cálculo de la energía útil de referencia para cada sector de consumo, tipo de tecnología, fuente de energía y uso final del país se determinó a partir de una eficiencia relativa. Los valores de eficiencia relativa permitieron comparar que la energía útil de referencia es la misma para los tres escenarios propuestos. “La eficiencia en una tecnología de uso final, se mide dividiendo la energía útil proporcionada sobre la energía final consumida” (OLADE 2018, 1).

El modelo SAME, asume que la tecnología más eficiente de uso final es a partir de la electricidad. Así, a la electricidad se le asigna el valor de la unidad y las demás tecnologías, al considerarse menos eficientes, se les asignará valores menores a la unidad. Por ejemplo, en el sector transporte, el incentivo del uso de autos eléctricos en lugar de autos convencionales (a base de gasolina o diésel) permite que el sector transporte sea más eficiente. La electricidad en términos de eficiencia relativa, como se indicó, tendrá el valor de 1, y la gasolina un valor de eficiencia de 0,6. Esto evidencia la eficiencia de la electricidad respecto a la gasolina. Otro

ejemplo, en el sector industrial, el uso de electricidad (eficiencia 0,85) en lugar de GLP (eficiencia 0,7) permite tener una mayor eficiencia en el sector industrial.

Finalmente, la sustitución de tecnologías convencionales por tecnologías más eficientes ayuda a una disminución en las pérdidas por conversión. Un ejemplo, en el sector residencial, la sustitución de focos comunes por focos ahorradores o en el alumbrado público mediante lámparas LED. De acuerdo a los valores de eficiencia relativa, la eficiencia de la electricidad puede pasar de 0,9 a 1 si se realiza estas sustituciones. En la siguiente tabla se observa dichos valores (ver tabla 4.6.).

Tabla 4.6. Valores asignados a las eficiencias relativas en los sectores de consumo final del Ecuador

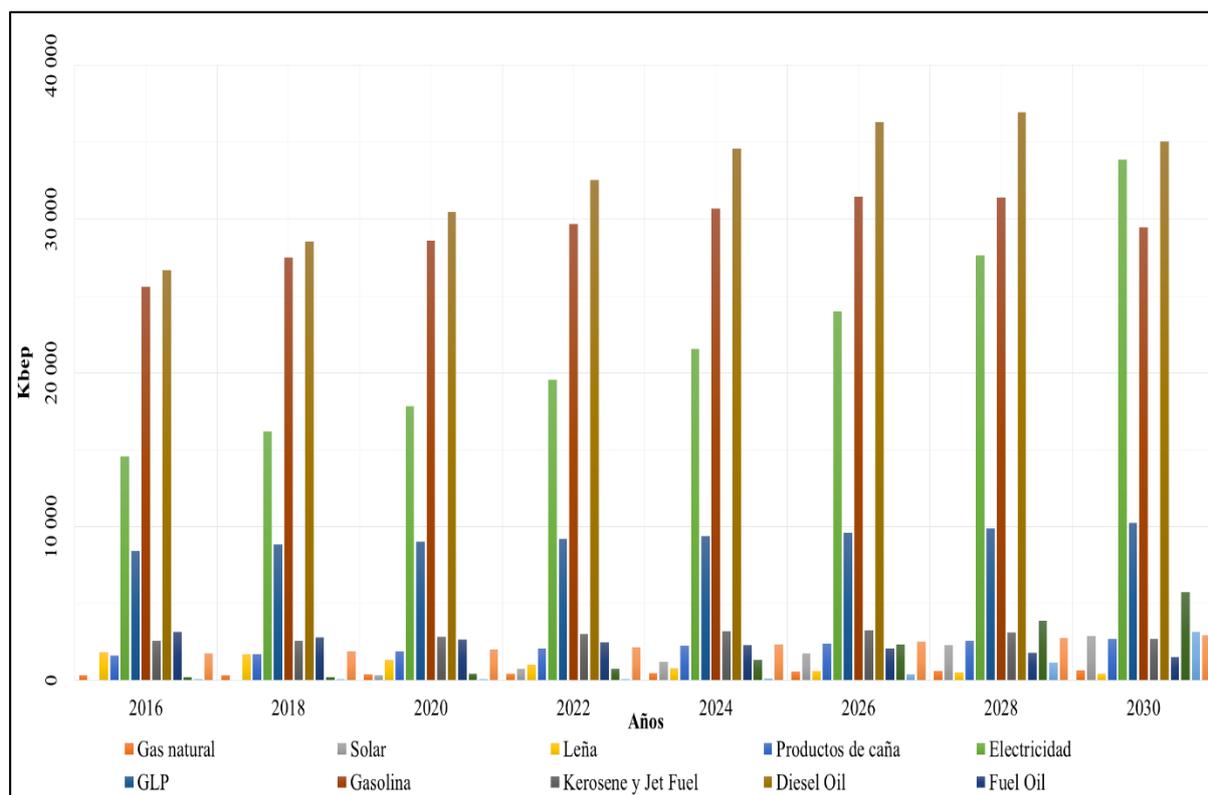
Actividad	Uso final	Tecnología	Petróleo	Gas natural	Carbón mineral	Solar	Leña	Productos de caña	Otra biomasa	Electricidad	GLP	Gasolina	Kerosene y Jet Fuel	Diesel Oil	Fuel Oil	Gases	Coque	Carbón vegetal	Etanol	Biodiesel
Transporte	Transporte	Convencional		0,75						1,00	0,70	0,60	0,60	0,65	0,50				0,60	0,65
Transporte	Transporte	Eficiente										0,65		0,70						
Industrial	Uso general	Convencional	0,50	0,75	0,40		0,20	0,30	0,30	0,90	0,70	0,60	0,60	0,65	0,50		0,40	0,25		
Industrial	Uso general	Eficiente								1,00				0,70						
Residencial	Uso general	Convencional		0,75		1,00	0,15		0,30	0,85	0,70		0,60	0,50				0,25		
Residencial	Uso general	Eficiente					0,30			1,00	0,75									
Comercial y servicios	Uso general	Convencional		0,75			0,20		0,30	0,95	0,70	0,60	0,60	0,65	0,50			0,25		
Comercial y servicios	Uso general	Eficiente								1,00				0,70						
Agro pesca y minería	Uso general	Convencional		0,75	0,40		0,20	0,30	0,30	1,00	0,70	0,60	0,60	0,65	0,50			0,25		
Construcción	Uso general	Convencional		0,75			0,20		0,30	1,00	0,70	0,60	0,60	0,65	0,50					

Fuente: Simulación SAME

Consumo final por sectores y fuentes

Con las medidas de eficiencia energética aplicadas a los cuatro sectores con mayor nivel de consumo del Ecuador, para el escenario DES, se observa una disminución en el consumo en cada uno de los años donde se aplica estas políticas. Se observa un incremento significativo en la participación de la electricidad, energía solar térmica, biodiesel y etanol al comparar el año 2016 con el 2030. El consumo de gasolina prácticamente se mantiene y existe un leve incremento en el consumo de diésel. El consumo de leña y GLP disminuye por el calentamiento de agua mediante la energía solar (ver gráfico 4.11.).

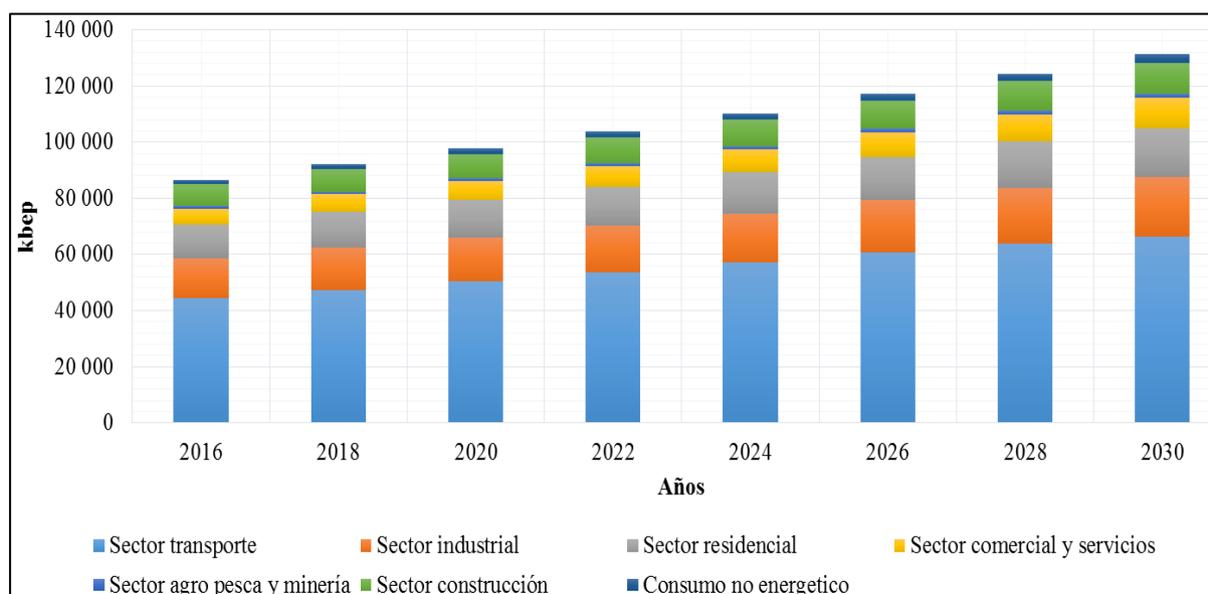
Gráfico 4.11. Consumo final proyectado por fuentes del Ecuador, escenario DES



Fuente: Simulación SAME, escenario DES

A nivel sectorial el incremento es moderado en cada uno de los sectores, sin alcanzar los valores del escenario BAU y EPA (ver gráfico 4.12.).

Gráfico 4.12. Consumo final proyectado por sectores del Ecuador, escenario DES



Fuente: Simulación SAME

Para el año 2030 el consumo en el sector transporte tendrá un 50,62 %, le sigue el sector industrial con 16,18 %, el residencial con 13,23 % y el de comercio y servicios con 8,14 %. A nivel de grupo energético el consumo de petróleo y derivados será del 62,37 %, electricidad 25,80 %, el gas natural tendrá un 0,48 % de participación y la biomasa y la energía solar térmica alcanzarán un 11,35 %. La gasolina y el diésel son los derivados de petróleo de mayor consumo con un 22,46 % y 26,69 % respectivamente (ver tabla 4.7.).

Tabla 4.7. Consumo final proyectado por sectores, grupo energético y fuentes del Ecuador (2030), escenario DES

Sector	2030 (kbep)	2030 (%)	Fuente	2030 (kbep)	2030 (%)
Sector transporte	66 433,40	50,62	Gas natural	635,37	0,48
Sector industrial	21 235,47	16,18	Carbón mineral	0,00	0,00
Sector residencial	17 359,30	13,23	Solar	2 896,19	2,21
Sector comercial y servicios	10 731,96	8,18	Leña	406,77	0,31
Sector agro pesca y minería	1 513,78	1,15	Productos de caña	2 706,13	2,06
Sector construcción	11 029,72	8,40	Electricidad	33 861,99	25,80
Consumo no energético	2 939,53	2,24	GLP	10 218,66	7,79
TOTAL	131 243,20	100,00	Gasolina	29 474,31	22,46
			Kerosene y Jet Fuel	2 695,48	2,05
Grupo energético	2030 (kbep)	2030 (%)	Diesel Oil	35 028,35	26,69
Petróleo y derivados	81 857,62	62,37	Fuel Oil	1 501,28	1,14
Gas natural	635,37	0,48	Coque	0,00	0,00
Carbón mineral y coque	0,00	0,00	Carbón vegetal	0,00	0,00
Biomasa	11 992,00	9,14	Etanol	5 747,90	4,38
Otras renovables	2 896,19	2,21	Biodiesel	3 131,20	2,39
Electricidad	33 861,99	25,80	No energético	2 939,53	2,24
TOTAL	131 243,20	100,00	TOTAL	131 243,20	100,00

Fuente: Simulación SAME

4.3.2 Proyección de la generación eléctrica

Premisas aplicadas

La principal premisa que se consideró para la generación eléctrica, en el escenario DES, fue la aplicación de políticas energéticas que impulsen un mayor aprovechamiento de la energía solar, eólica y geotérmica, de acuerdo con los potenciales existentes en el país. Otro factor que se utilizó en la proyección de la oferta de electricidad es la reducción paulatina de las pérdidas de transmisión y distribución eléctrica a lo largo de la prospectiva. A continuación, se presenta el cronograma de instalación/retiro en base al *PME* y al *PLANEE* que se tomó en consideración para modelar este escenario (ver tabla 4.8.).

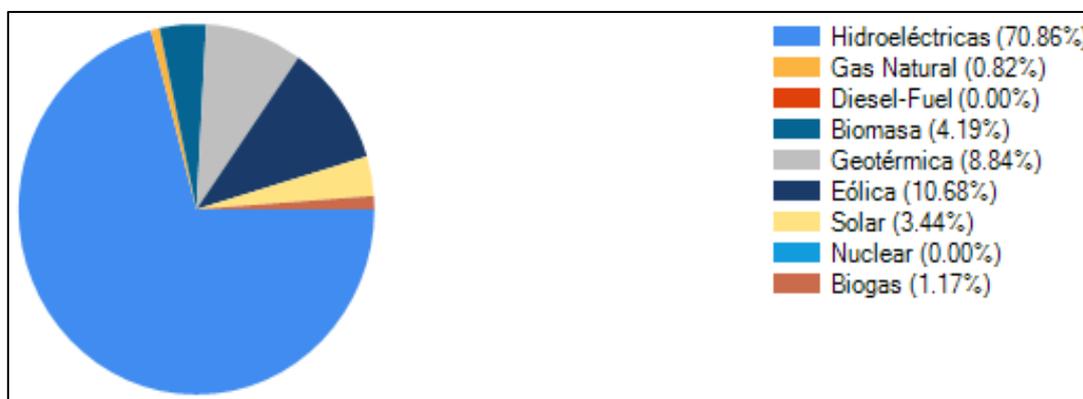
Tabla 4.8. Cronograma de instalación/retiro del Ecuador (MW), escenario DES

Año \ Tecnología	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Hidroeléctricas	186,22					733,60			500,00		540,00	600,00	600,00
Gas Natural													
Diesel-Fuel													
Biomasa								100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Geotérmica								100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	200,00
Eólica					100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	300,00	300,00	300,00
Solar					100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	200,00	300,00
Nuclear													
Biogas						10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00

Fuente: ARCONEL y MEER 2017a

Al implementar las políticas de desarrollo energético sostenible para el año 2030, la dependencia de las hidroeléctricas será de un 70,86 %, el gas natural tendrá un aporte menor al 1 %. Un punto muy importante a resaltar es que no existe participación del diésel para este año, al contrario, las ERNC superan el 25 %; la energía eólica aporta un 10,68 %, la energía solar un 3,44 % y la energía geotérmica un 8,84 % (ver gráfico 4.13.).

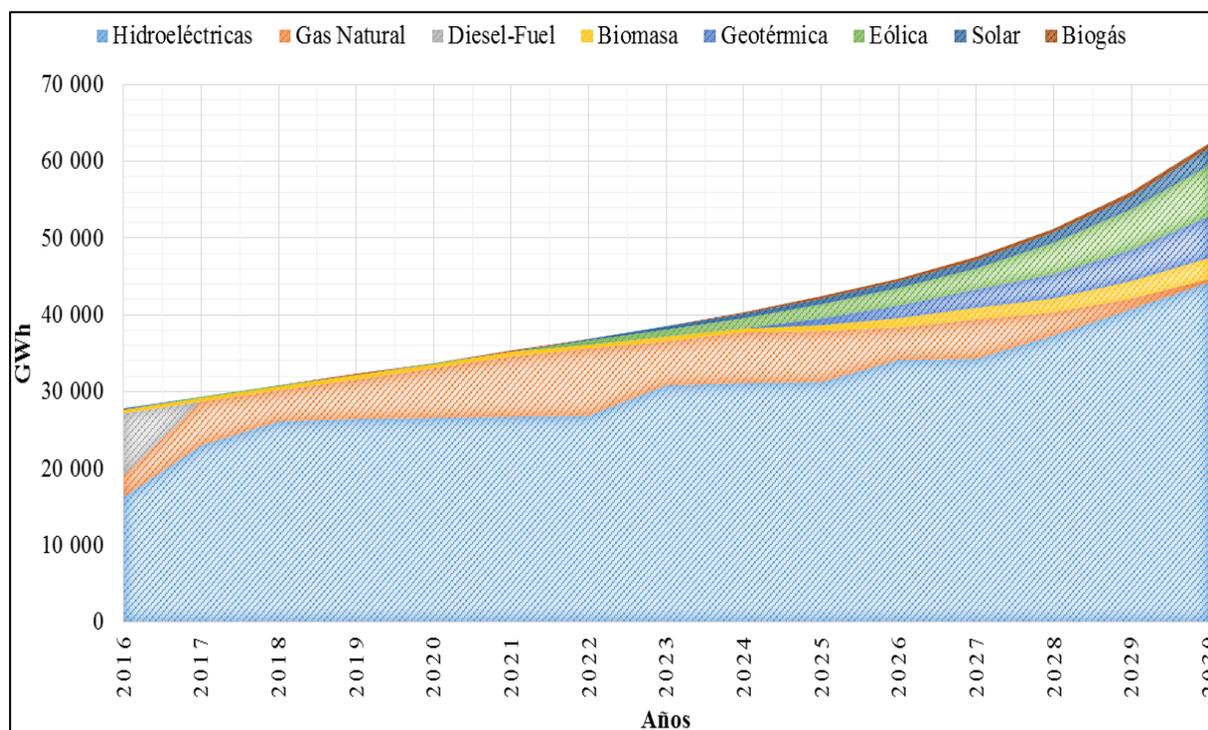
Gráfico 4.13. Matriz de generación eléctrica por fuente del Ecuador (2030), escenario DES



Fuente: Simulación SAME

En el siguiente gráfico se evidencia la penetración profunda de las ERNC y una disminución en la generación del diésel y el gas natural, lo que permite de acuerdo a la simulación desarrollada tener una matriz de generación eléctrica 100 % diversificada en el año 2030 (ver gráfico 4.14.).

Gráfico 4.14. Proyección de generación eléctrica por fuente del Ecuador, escenario DES



Fuente: Simulación SAME

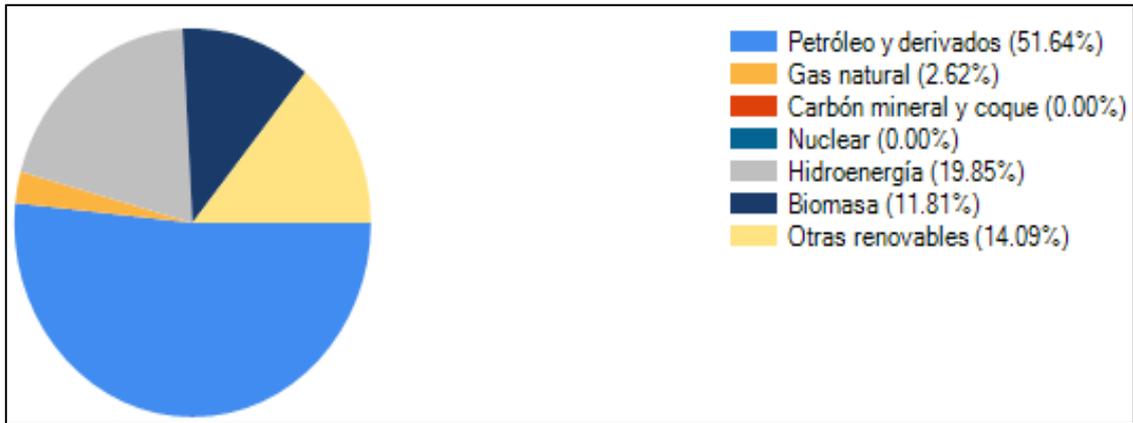
4.3.3. Proyección de la oferta interna total de energía

Premisas aplicadas

La premisa que se planteó en este escenario fue lograr un aprovechamiento de los recursos energéticos que posee el Ecuador de manera sostenible. Esto con la finalidad de disminuir las importaciones de los derivados de petróleo, en particular gasolina y diésel. Para cuantificar la oferta total de energía se verificó la cantidad de reservas probadas de los recursos no renovables y el potencial de los recursos renovables, esto permitió tener un escenario consistente con los datos de entrada.

En el año 2030, el aporte de la energía eólica, geotérmica y solar para la oferta total en este escenario supera el 14 %. La hidroenergía aporta el 19,85 %, y la biomasa el 11,81 %. El petróleo y sus derivados están presentes con un 51,64 % y el gas natural con el 2,62 %. Si se contabiliza la hidroenergía, biomasa y ERNC se tiene una contribución superior al 45 %. Esto evidencia una matriz energética diversificada con un aporte significativo de las ERNC (ver gráfico 4.15.).

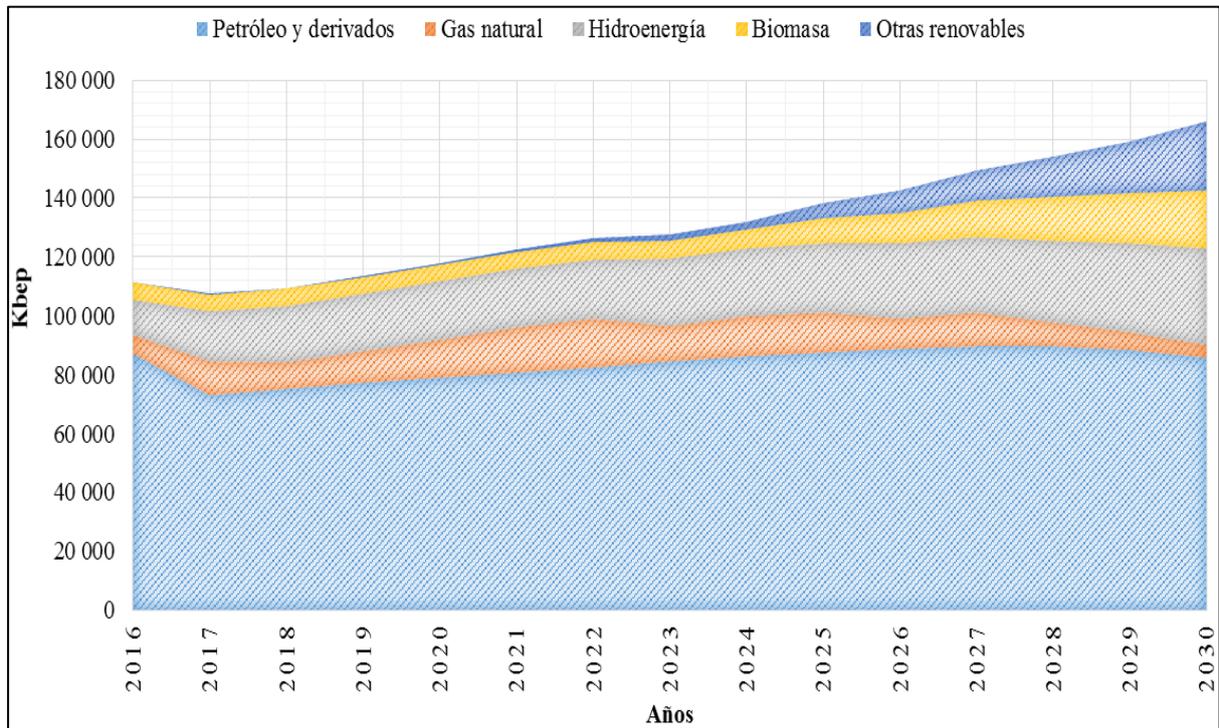
Gráfico 4.15. Proyección de la oferta total de energía por fuente del Ecuador (2030), escenario DES



Fuente: Simulación SAME

La diversificación de la matriz energética es visible y si la aplicación de las políticas energéticas de desarrollo sostenible se mantiene es posible que a futuro se consiga una matriz de oferta total de energía menos dependiente del petróleo y sus derivados (ver gráfico 4.16.).

Gráfico 4.16. Proyección de la oferta total de energía por fuente del Ecuador, escenario DES



Fuente: Simulación SAME

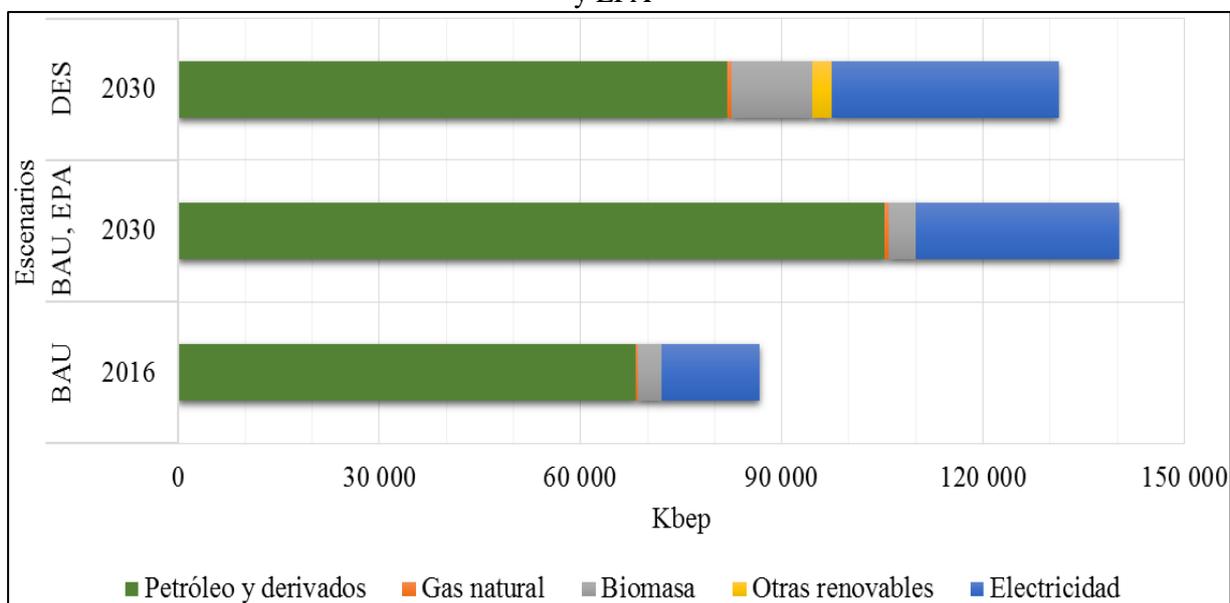
4.4. Análisis comparativo del escenario DES respecto del escenario BAU y EPA

4.4.1. Análisis comparativo de las matrices de consumo final de energía

Las medidas de eficiencia energética implementadas en el escenario DES permiten una reducción significativa en el consumo final de energía en el año 2030 respecto a los escenarios BAU y EPA. El mayor porcentaje de ahorro es debido a la sustitución de la gasolina y diésel por electricidad, etanol y biodiesel.

En el siguiente gráfico se puede observar que la mayor cantidad de ahorro energético se da en el consumo de petróleo y sus derivados. Al mismo tiempo se produce un incremento en el consumo de las ERNC, la biomasa y la electricidad. Asimismo, el incentivo a utilizar la energía solar térmica ayuda a lograr un ahorro energético en el escenario DES, pues esta es una energía más eficiente. Esto permite conseguir en el año 2030 una matriz de consumo más diversificada. Finalmente, al comparar la matriz de consumo final del año 2016 respecto al 2030 se observa un incremento sustancial que va en relación al crecimiento económico y demográfico (ver gráfico 4.17.).

Gráfico 4.17. Comparación del consumo final de energía del Ecuador (2030), escenario DES vs BAU y EPA



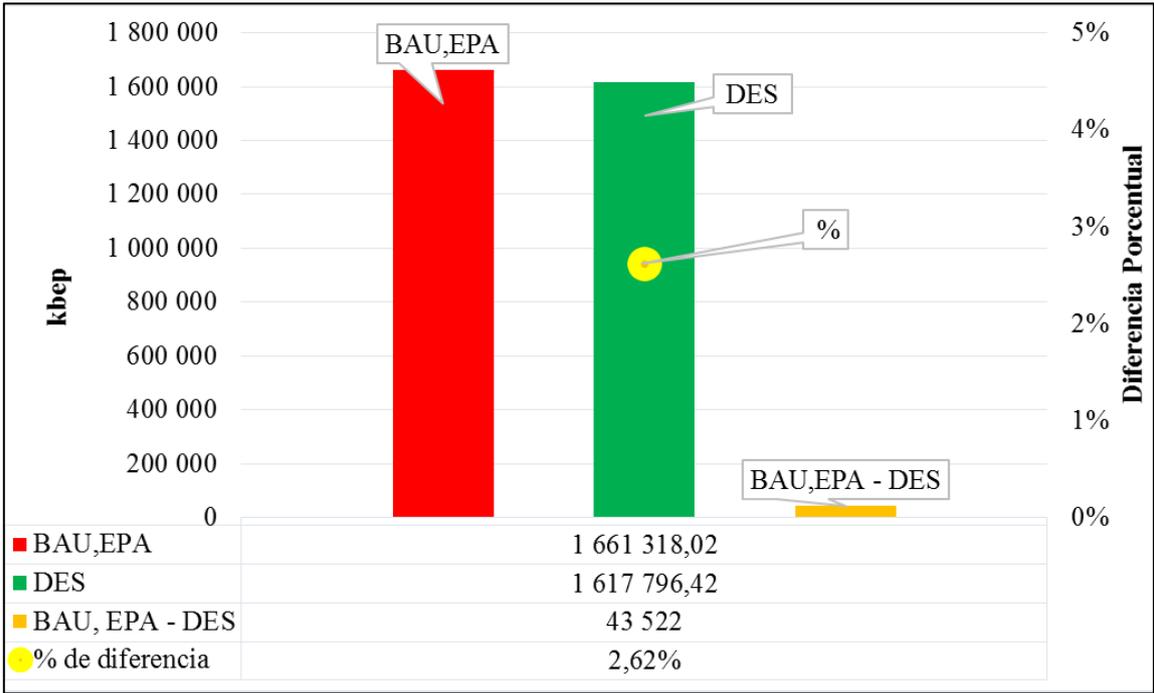
Fuente: Simulación SAME

Las medidas de sustitución de tecnologías convencionales por tecnologías eficientes y el aumento de la eficiencia en su consumo permiten un ahorro energético. Esto ayuda en la disminución de las pérdidas de transformación y transporte al ser energías más eficientes. A

su vez, se logra que la energía útil que es la que en realidad demanda el consumidor sea similar a la energía de uso final que se registra en los balances energéticos.

El ahorro del consumo final de energía acumulada del año 2016 al 2030 en el escenario DES es de 43 522 kbep respecto al BAU y EPA. Esto en términos porcentuales es un 2,62 %. (ver gráfico 4.18.).

Gráfico 4.18. Consumo final de energía acumulada del Ecuador, diferencias entre los tres escenarios



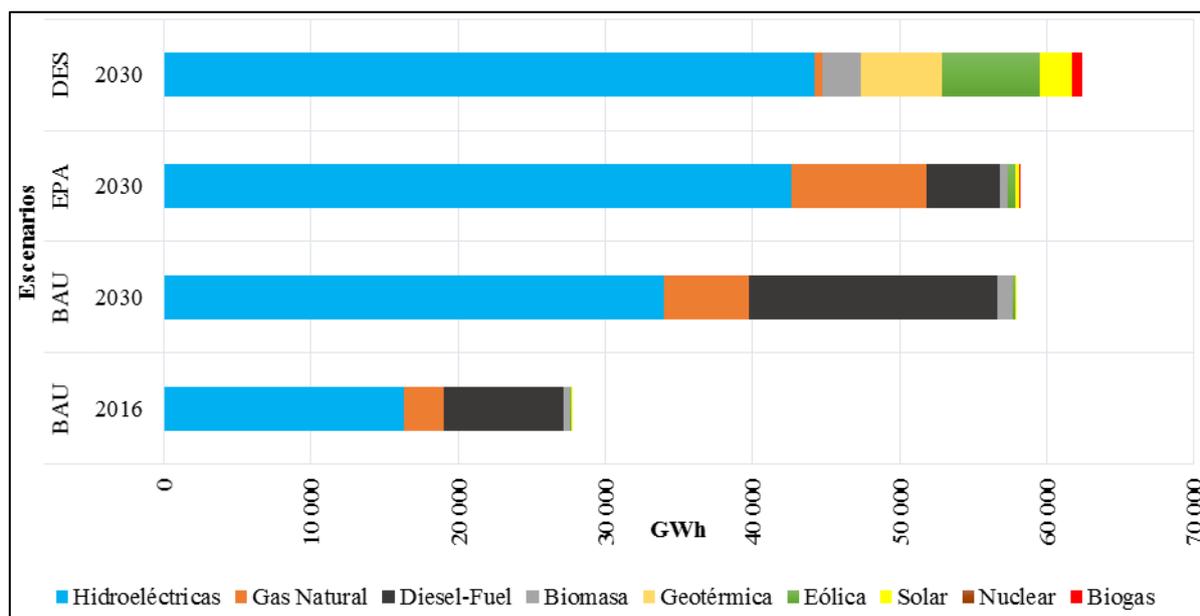
Fuente: Simulación SAME

4.4.2. Análisis comparativo de las matrices de generación eléctrica

La prioridad de despacho y las capacidades instaladas que se utilizó en la construcción de los tres escenarios permitieron obtener la matriz de generación eléctrica para el año 2030. En el siguiente gráfico se evidencia la participación de las fuentes de ERNC (eólica, solar y geotérmica) en el escenario DES, en pequeña proporción en el EPA, a diferencia del escenario BAU que tiene un aporte casi nulo de las ERNC.

Por el contrario, en el escenario DES el consumo de diésel se elimina y el gas natural tiene una influencia despreciable en la generación de electricidad. Cabe señalar que el aporte de la hidroenergía, biogás y biomasa se incrementa en el escenario DES con la finalidad de obtener una matriz de generación eléctrica 100 % renovable en el año 2030 (ver gráfico 4.19.).

Gráfico 4.19. Proyección de generación eléctrica del Ecuador (2030), escenario DES vs BAU y EPA

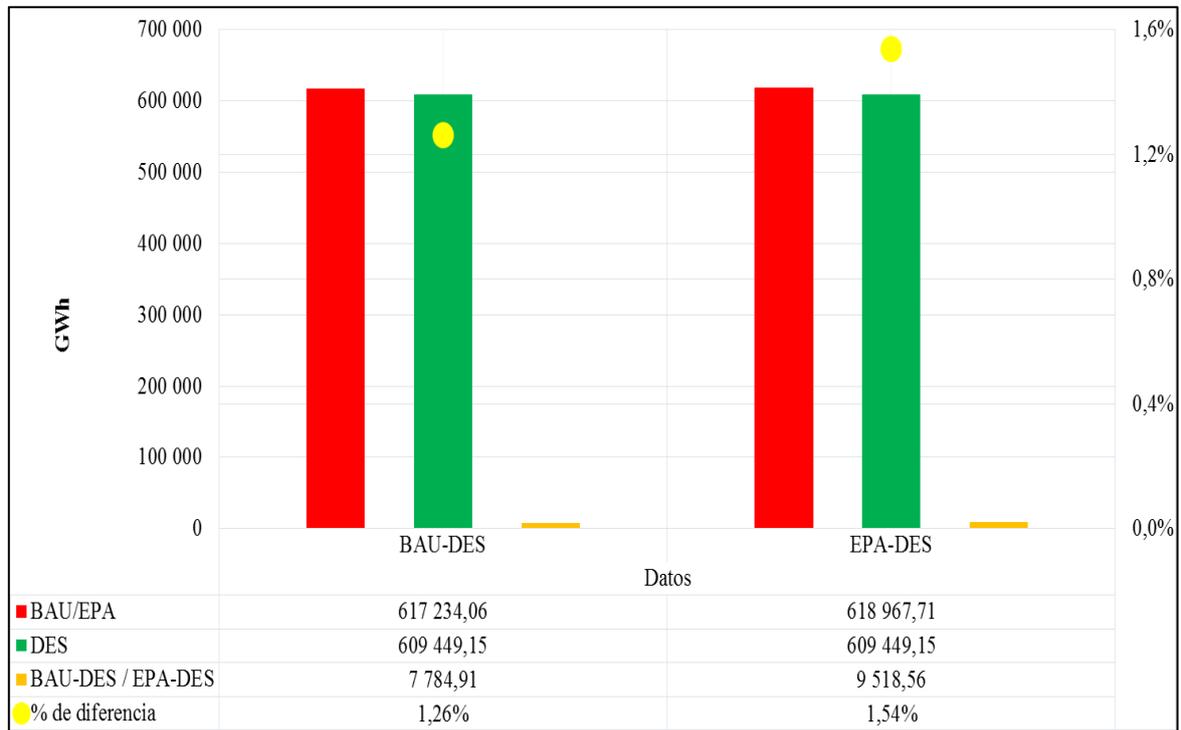


Fuente: Simulación SAME

Además, en el gráfico anterior se observa que la generación hidroeléctrica del escenario DES en el año 2030 es mayor respecto al EPA y DES. Esta diferencia en este último año de proyección se debe al mayor aporte de la electricidad en los usos finales. Se esperaría que la diferencia sea mayor, pues con las medidas de eficiencia implementadas en el escenario DES se busca reemplazar la electricidad por las otras fuentes menos eficientes. No obstante, la reducción de pérdidas de transmisión y distribución con la mejora de tecnología en los aparatos eléctricos y aumento del uso de energía solar térmica en reemplazo de los derivados del petróleo ha ayudado a que se requiera una menor cantidad de generación de electricidad. Es así que, la generación eléctrica acumulada en el período de proyección, en el escenario DES es menor en relación al escenario BAU y EPA, con una diferencia de 1,26 % y 1,54 % respectivamente.

Se esperaría que las diferencias de generación eléctrica acumulada sean mayores, pues de acuerdo a la proyección, el consumo de electricidad disminuyó en mayor magnitud. La necesidad de generar mayor electricidad tiene como finalidad disminuir las importaciones de diésel y dejar de generar energía de las centrales térmicas (ver gráfico 4.20).

Gráfico 4.20. Generación eléctrica acumulada del Ecuador, diferencias entre escenarios

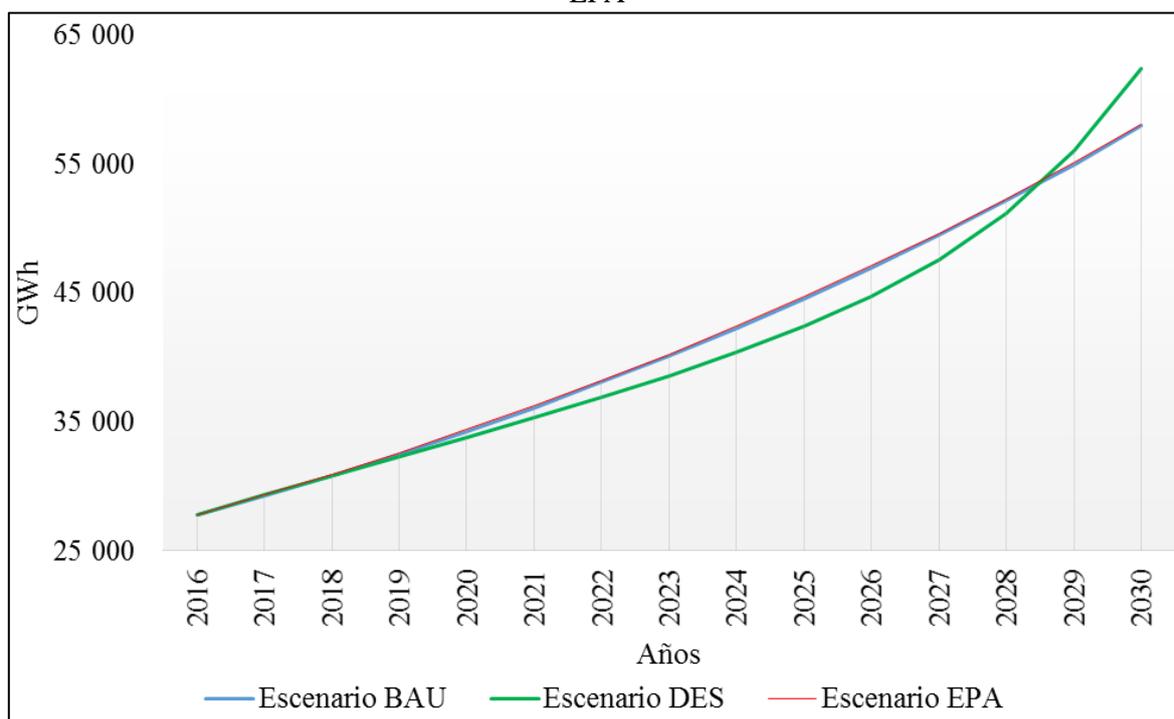


Fuente: Simulación SAME

La curva de generación eléctrica del escenario BAU y EPA sigue una tendencia similar y uniforme, en cambio el escenario DES presenta una curva cóncava con variaciones visibles a lo largo de la proyección. Como se observa en el siguiente gráfico la generación eléctrica de los escenarios BAU y EPA es mayor respecto al DES hasta el año 2028, punto en el que se cruzan las curvas. En este punto, se tiene la misma generación de electricidad en todos los escenarios.

A partir de este punto se produce una mayor generación de electricidad por parte del escenario DES. Lo cual es necesario, ya que la intención es reemplazar electricidad por fuentes menos eficientes. Como se describió anteriormente esto sucede debido a que las medidas de eficiencia energética implementadas tienen su mayor impacto en los últimos años de proyección. Pero en general, se observa que el área bajo la curva (generación eléctrica producida) del escenario DES es menor respecto al escenario BAU y EPA, lo que indica un ahorro neto de generación eléctrica (ver gráfico 4.21.).

Gráfico 4.21. Proyección de la generación total de electricidad del Ecuador, escenario DES vs BAU y EPA



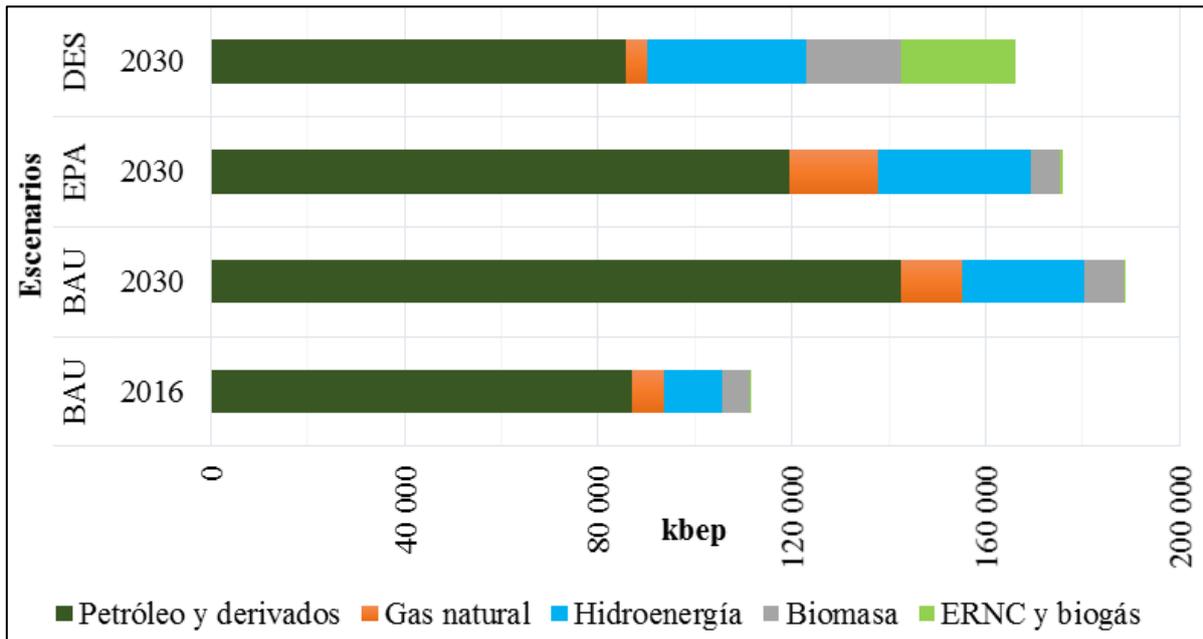
Fuente: Simulación SAME

4.4.3. Análisis comparativo de las matrices de oferta total de energía

La oferta total de energía en el escenario DES es menor respecto al escenario BAU y EPA. La diferencia más relevante se da en la disminución de la oferta de petróleo y sus derivados y del gas natural. Esta disminución en la dependencia de los hidrocarburos en el escenario DES se compensa con un aumento significativo de las ERNC, en específico la energía eólica, solar y geotérmica y el biogás. En el año 2030, la hidroenergía mantiene su aporte en los tres escenarios.

El aporte más representativo de las ERNC, en el escenario DES, permite alcanzar una matriz energética más diversificada en el año 2030, en comparación con el escenario BAU y EPA que todavía a esa fecha mantienen una matriz dependiente de hidrocarburos e hidroenergía (ver gráfico 4.22).

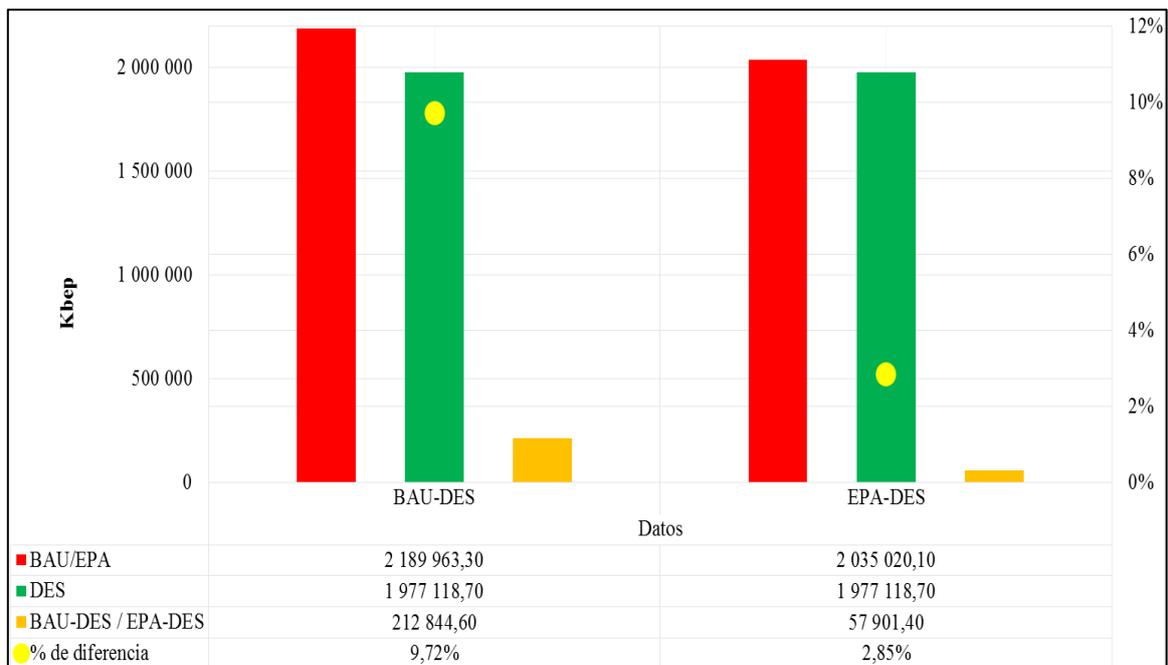
Gráfico 4.22. Proyección de la oferta interna total de energía del Ecuador (2030), escenario DES vs BAU y EPA



Fuente: Simulación SAME

La oferta total de energía acumulada del escenario DES logra disminuir un 9,72 % y un 2,85 % en relación al escenario BAU y EPA respectivamente (ver gráfico 4.23).

Gráfico 4.23. Oferta total acumulada de energía del Ecuador, diferencias entre escenarios



Fuente: Simulación SAME

4.5. Discusión de indicadores

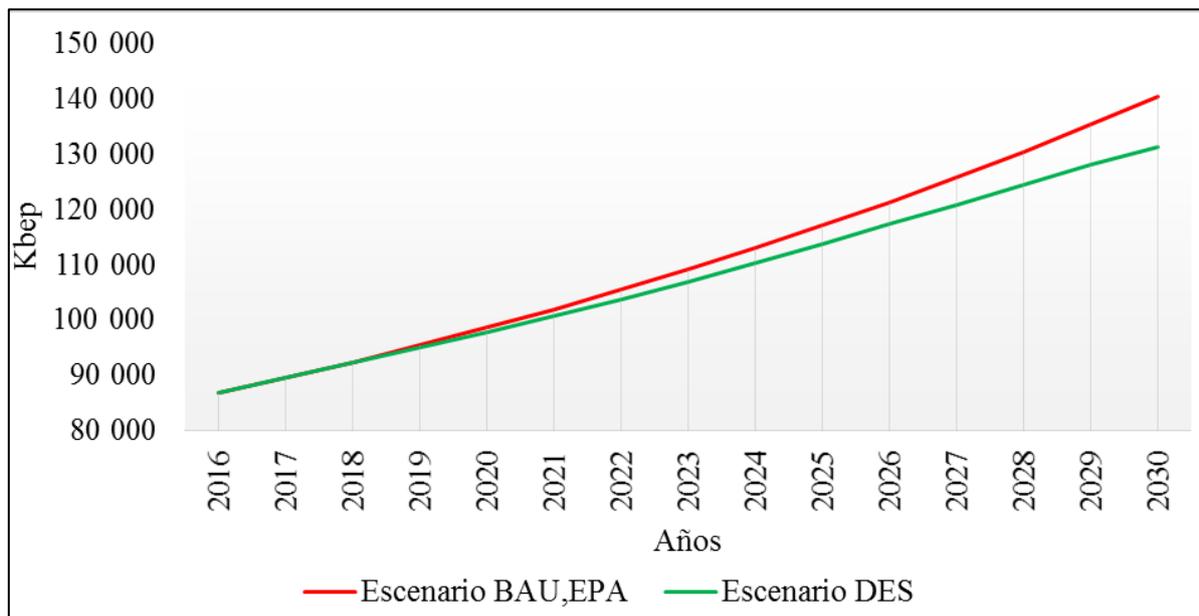
4.5.1. Energéticos

- Estructura de la oferta y consumo de energía

La estructura de la oferta y consumo de energía detallados en el análisis comparativo de los escenarios energéticos (sección anterior) permitieron visualizar el grado de suficiencia del sector energético ecuatoriano. El país cuenta con una alta capacidad de exportación de energía primaria, el petróleo es la fuente principal de exportación. A pesar de contar con grandes recursos energéticos, el Ecuador necesita importar derivados de petróleo para abastecer el consumo interno.

Por el lado de la demanda, la mayor cantidad de ahorro energético del escenario DES respecto al BAU y EPA proviene del ahorro en el consumo de hidrocarburos, lo que ayuda a reducir las importaciones. La proyección del consumo final total por escenario se muestra a continuación (ver gráfico 4.24.).

Gráfico 4.24. Proyección del consumo final de energía del Ecuador, escenario DES vs BAU y EPA



Fuente: Simulación SAME

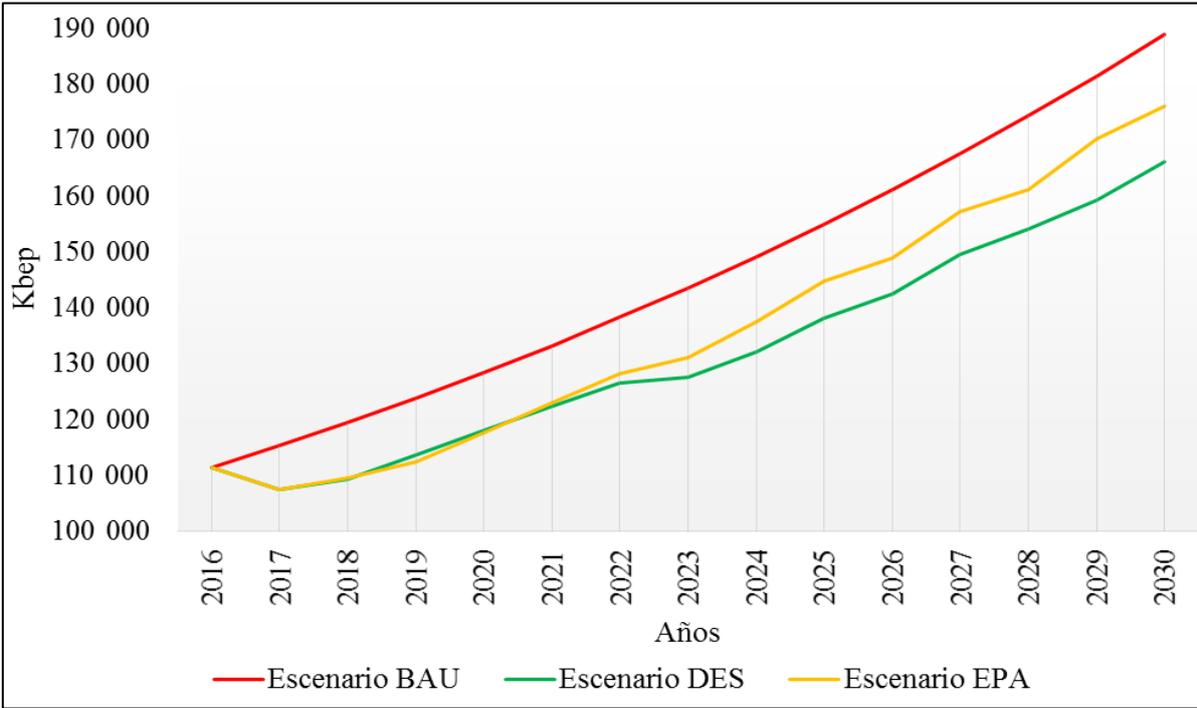
Este ahorro energético que se obtiene en el escenario DES (43 522 kbeb) es superior a la generación total de electricidad en el 2030 para cualquiera de los escenarios y a su vez es mayor a la producción total de las ERNC y biomasa en el mismo año. Estos resultados

clarifican la necesidad de implementar medidas de eficiencia energética profundas y pensar siempre en un horizonte a largo plazo para visualizar el éxito o fracaso de estas políticas.

Por el lado de la oferta el panorama es similar, se produce una disminución de la oferta de petróleo y sus derivados y del gas natural. Además, el Ecuador es un país netamente exportador de hidrocarburos lo que le permite ser autosuficiente a nivel energético. En el escenario DES se produce una disminución de la oferta total de energía durante los 14 años de proyección de 212 844,60 kbep y 57 901,40 kbep en relación al escenario BAU y EPA respectivamente. El ahorro acumulado es más de la cuarta parte de la oferta total de energía en el año 2030 para cualquiera de los escenarios. Con respecto al escenario BAU el ahorro acumulado supera la oferta de energía, por ende, esta cantidad ahorrada permitiría cubrir la demanda energética del Ecuador en el año 2030 (año de mayor consumo).

A continuación, se puede observar la proyección de la oferta interna de energía para los tres escenarios construidos. El área bajo la curva del escenario DES es menor a lo largo de la proyección por lo que se evidencia que la oferta acumulada de energía es menor respecto a los otros dos escenarios (ver gráfico 4.25.).

Gráfico 4.25. Proyección de la oferta interna total de energía del Ecuador, escenario DES vs BAU y EPA

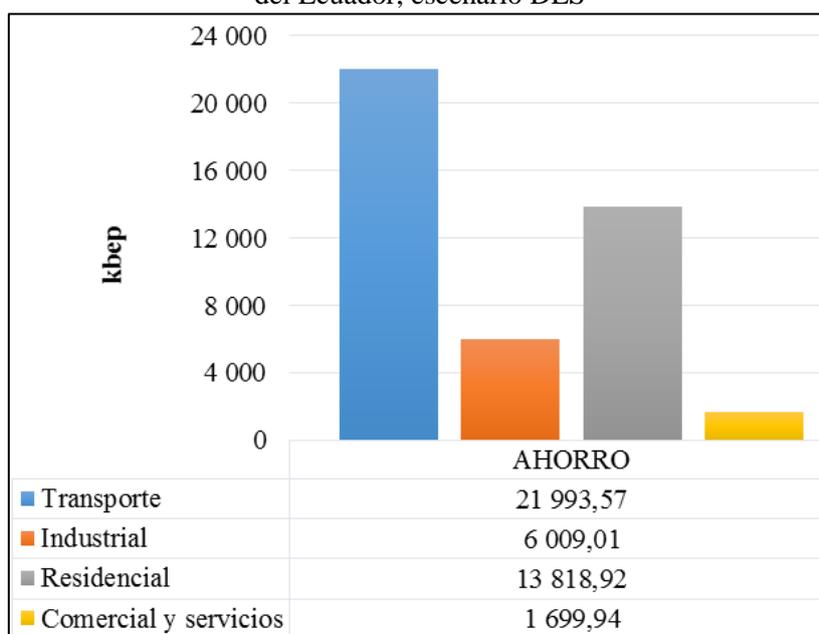


Fuente: Simulación SAME

- Ahorro en el consumo final de energía por sector

La estructura del consumo de energía por sector es similar en todos los escenarios proyectados hasta el año 2030. El sector transporte tiene una participación en el consumo del 51 %, el industrial del 16 %, el residencial del 13 % y el comercial del 7 %. En el escenario DES, el sector transporte y residencial son los sectores con mayor ahorro energético, esto gracias a las medidas de eficiencia energética implementadas. El sector residencial presenta un alto nivel de ahorro gracias a la disminución en el consumo de electricidad y de combustibles (GLP) utilizados en el calentamiento del agua. La energía solar térmica reemplaza a estas tecnologías. Además, en el sector residencial se produce el consumo de energía más eficiente en reemplazo de la leña (ver gráfico 4.26.).

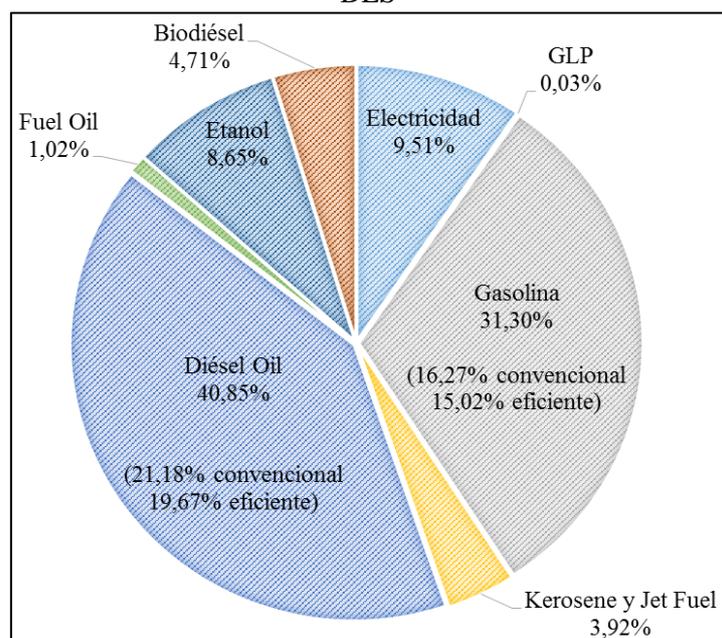
Gráfico 4.26. Ahorro en el consumo final de energía acumulado en el período de proyección por sector del Ecuador, escenario DES



Fuente: Simulación SAME

En el sector transporte las medidas de eficiencia energética implementadas en el escenario DES debido a la sustitución de fuentes de mayor eficiencia permiten que la electricidad, el etanol y el biodiesel tengan participación en la matriz de consumo de este sector. El aporte de estas fuentes supera el 20 %, esto ayuda a que en el año 2030 el sector transporte sea más eficiente, tenga una menor dependencia de los derivados del petróleo y genere menos cantidad de emisiones de GEI (ver gráfico 4.27.).

Gráfico 4.27. Demanda de energía del sector transporte por fuentes del Ecuador (2030), escenario DES



Fuente: Simulación SAME

No obstante, el ahorro energético por la mayor participación del biodiesel y etanol en este sector puede originar conflictos sociales y ambientales al provocar deforestación y contaminación de aguas, además de consumir recursos útiles para cultivos que permiten garantizar la seguridad alimentaria, como el agua y el suelo. Para evitar estos daños ecológicos se requiere un adecuado ordenamiento territorial y uso del suelo mediante la implementación de políticas energéticas por parte del gobierno ecuatoriano. La cantidad de palma africana o caña de azúcar para producir los biocombustibles no debe ocasionar una escasez alimentaria en las zonas donde se las extrae. Todo lo contrario, el cultivo de estos recursos debería darse con la finalidad de abastecer la demanda alimentaria del sector y promover el comercio con otras ciudades, lo que a su vez podría fomentar el empleo de las personas del sector y con ello el desarrollo.

Otra medida que se aplicó fue la sustitución de tecnologías convencionales por tecnologías eficientes. De ahí que la participación del diésel con un 40,85 % y la gasolina con un 31,30 % es la sumatoria de la tecnología convencional y la tecnología eficiente (ver tabla 4.9.).

Tabla 4.9. Consumo del sector transporte del Ecuador (2030), tecnología convencional y eficiente, escenario DES (kbep)

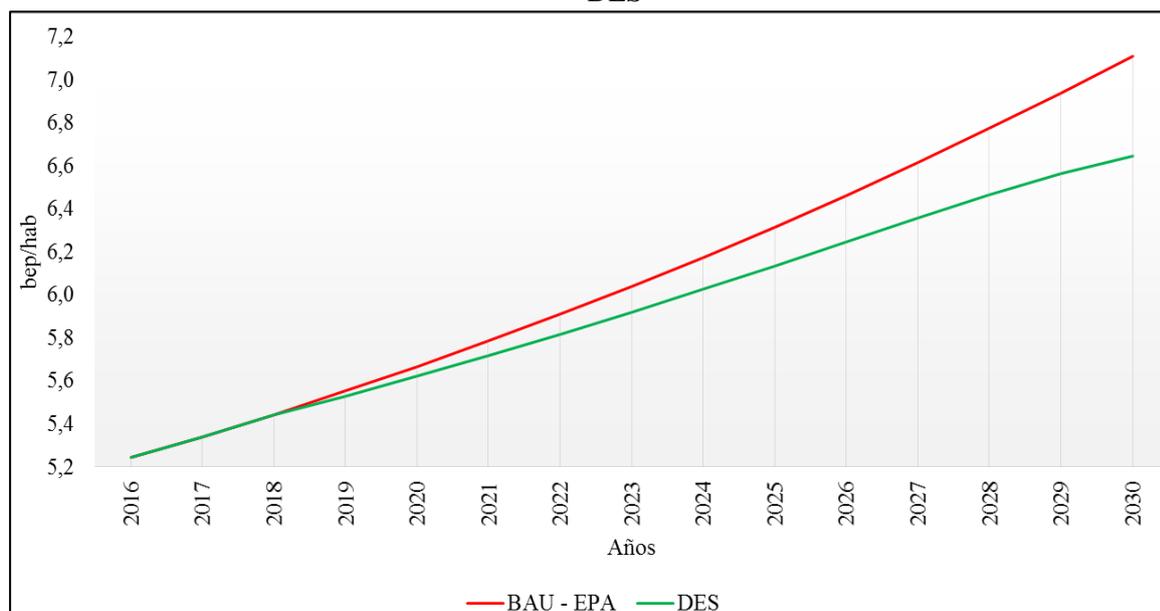
Transporte año 2030	Electricidad	GLP	Gasolina	Kerosene	Diesel Oil	Fuel Oil	Etanol	Biodiesel	TOTAL
Tecnología convencional	6 319,00	23,00	10 811,40	2 603,30	14 072,60	677,70	5 747,90	3 131,20	43 386,10
Tecnología eficiente	-	-	9 979,70	-	13 067,40	-	-	-	23 047,10

Fuente: Simulación SAME

- Consumo energético total per cápita

Este indicador se lo puede interpretar desde el punto de vista económico y desde el desarrollo sostenible. En el modelo de simulación se distingue una clara diferencia entre el escenario DES, donde se aplicó las medidas de eficiencia energética y los escenarios BAU y EPA a lo largo de la proyección. El Ecuador en el año 2030 alcanzará un consumo energético per cápita, para el escenario DES, de aproximadamente 6,6 bep/hab y en los escenarios BAU y EPA un 7,1 bep/hab (ver gráfico 4.28).

Gráfico 4.28. Proyección del consumo energético total per cápita del Ecuador, escenarios BAU, EPA y DES



Fuente: Simulación SAME

Si se considera el progreso económico se puede argumentar que en el escenario DES existirá una disminución en el grado de industrialización y con ello del nivel de vida de las personas del país. No obstante, el incremento del consumo energético per cápita no implica un nivel de estancamiento de una economía, en países en vías de desarrollo esto podría ser una muestra de progreso social o un indicio de reducción de la pobreza. Desde la perspectiva de desarrollo

sostenible, la disminución de este indicador permite disminuir las emisiones de GEI y con ello la presión de los seres humanos sobre el medio ambiente.

Para clarificar la interpretación de este indicador, en la investigación se desarrolló el cálculo del consumo eléctrico per cápita (ver tabla 4.10). En el año 2030, el consumo eléctrico per cápita del escenario DES es mayor respecto al BAU y EPA, esto se origina por las medidas de eficiencia energética implementadas. Este aumento en el consumo de electricidad permite que el escenario DES genere energía a partir de una tecnología más eficiente, es decir, se realiza la misma cantidad de trabajo con menor energía.

Tabla 4.10. Consumo energético y eléctrico per cápita del Ecuador, escenario BAU, EPA y DES

Escenario	Indicador	Unidad/Año	2016	2018	2020	2022	2024	2026	2028	2030
BAU Y	Consumo final per cápita	bep/hab	5,24	5,44	5,66	5,91	6,17	6,46	6,77	7,11
EPA	Consumo eléctrico per cápita	kWh/hab	1 421,28	1 539,06	1 666,62	1 804,77	1 954,39	2 116,43	2 291,93	2 482,00
DES	Consumo final per cápita	bep/hab	5,24	5,44	5,62	5,81	6,02	6,25	6,46	6,65
	Consumo eléctrico per cápita	kWh/hab	1 421,28	1 539,06	1 652,71	1 770,56	1 900,33	2 063,64	2 315,68	2 767,16

Fuente: Simulación SAME

Las políticas energéticas a implementar en el Ecuador deben apuntar a que el consumo energético se estabilice o si es posible exista una reducción a futuro. Para ello, es necesario mejorar los sistemas de transmisión y disminuir las pérdidas de conversión de energía final a energía útil.

- Potenciales vs capacidad instalada de las energías primarias

El Ecuador al igual que ALyC cuenta con un abundante potencial de energía primaria renovable. Por consiguiente, la construcción de los escenarios energéticos es factibles en cuanto considera las políticas energéticas que constan en el *PME* del lado de la oferta y el *PLANEE* del lado de la demanda de energía. Los potenciales de energía solar, geotérmica y eólica en el país son cuantiosos y las limitaciones para su aprovechamiento se deben a costos de inversión, desarrollo tecnológico o restricciones sociales y ambientales.

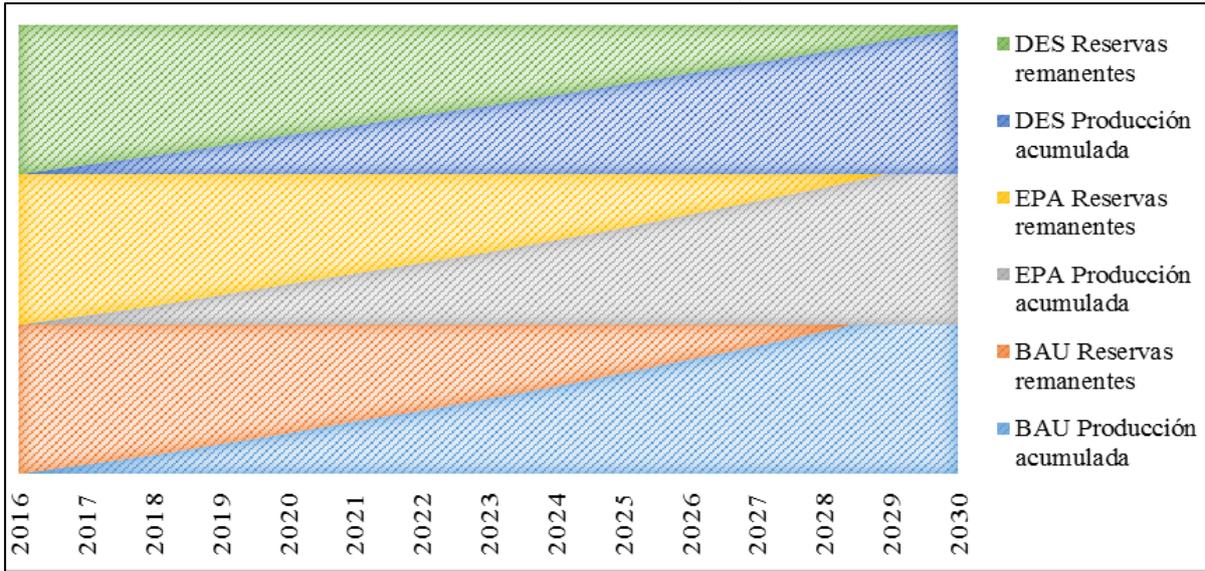
La fuente energética más desarrollada en el país ha sido la hidroenergía, fuente con un alto potencial, pero con una capacidad instalada, muchas veces, no aprovechada y con problemas en la construcción de las centrales. Estas dificultades han impedido que las hidroeléctricas

consigan su máximo rendimiento. Asimismo, ha ocasionado que centrales térmicas ingresen nuevamente a operación, lo que al final provoca seguir dependiendo del petróleo.

Como se analizó anteriormente, la proyección del consumo energético del país indica un incremento para los tres escenarios construidos y el petróleo es la fuente principal de consumo. Sin embargo, las reservas de petróleo, al ser de origen no renovable, no durarán muchos años. Si se considera las reservas de petróleo en los tres escenarios modelados, en el escenario BAU las reservas remanentes se agotarán en el 2028 lo que invita a preguntarse de dónde saldrá la energía requerida para satisfacer la demanda los años futuros. Quizá con mayor exploración de yacimientos de petróleo y gas o el uso de nuevas tecnologías de recuperación mejorada se pueda abastecer la demanda unos años más. Pero suponer un incremento de reservas de petróleo siempre genera una incertidumbre.

Al continuar con el análisis del potencial hidrocarburiífero, se observa que en el escenario EPA la tendencia se mantiene, al terminarse las reservas de petróleo en el año 2029. Y finalmente, en el escenario DES, las reservas actuales no se agotan hasta el último año de proyección (ver gráfico 4.29.). En esta línea, el escenario DES invita a pensar en un desarrollo energético sostenible. La clave está en aprovechar al máximo el potencial energético renovable y no solo depender de una o dos fuentes energéticas.

Gráfico 4.29. Reservas remanentes y producción acumulada de petróleo del Ecuador hasta el año 2030, escenario BAU, EPA y DES



Fuente: Simulación SAME

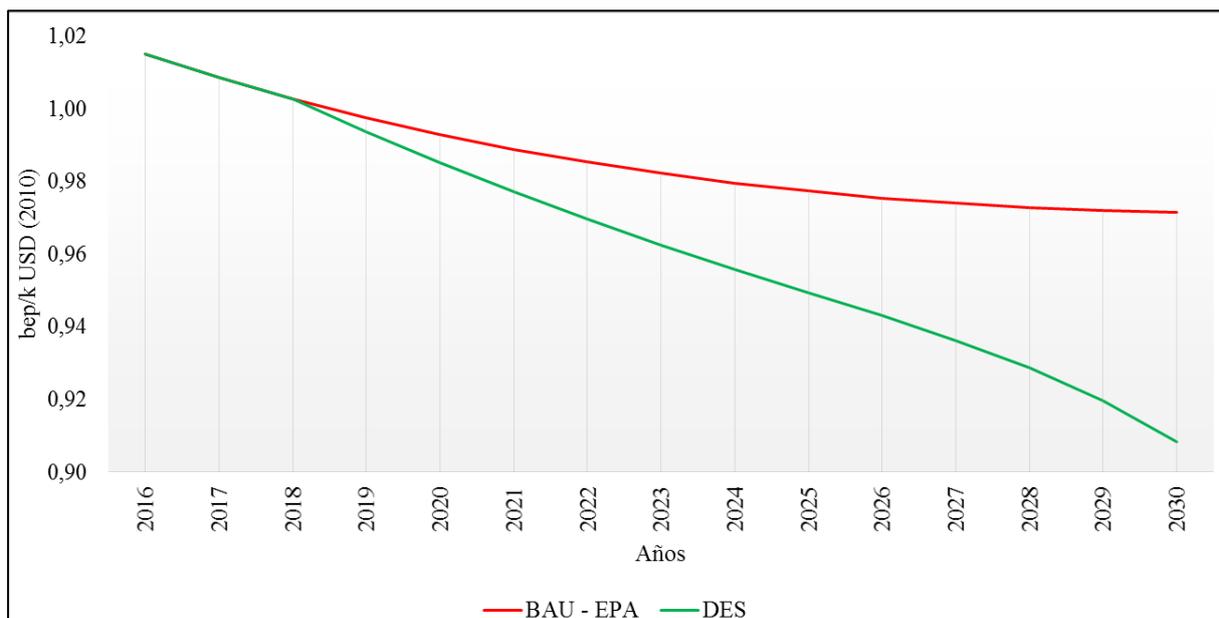
4.5.2. Socio-económicos

- Intensidad energética final

Este indicador permite conocer la cantidad de energía necesaria que se requiere para producir una unidad de riqueza. Es el inverso del indicador de eficiencia energética. Para el cálculo se utilizó valores proyectados del PIB a precios constantes de 2010 obtenidos de la CEPAL y del *PME 2016-2025*. Como resultado de la prospectiva realizada se observa que la intensidad energética disminuye a lo largo de la proyección en los tres escenarios o alternativamente, aumenta la eficiencia energética. Sin embargo, en el escenario DES la disminución de la intensidad energética es más profunda y llega a 0,90 bep/ k USD aproximadamente (ver gráfico 4.30). Esto nos indica que para el año 2030 se requerirá 0,90 bep para producir 1000 USD de riqueza. Los escenarios BAU y EPA requerirán mayor energía para producir dicha riqueza.

Este indicador es también utilizado para evaluar los avances de un país en términos de eficiencia energética y sostenibilidad relativa. En el escenario DES se observa una importante mejora gracias al ahorro de energía acumulado respecto a los otros escenarios. Un menor consumo energético, además de un ahorro económico supone un aporte a nivel ecológico, pues el consumo energético está en relación directa con la sostenibilidad en términos relativos.

Gráfico 4.30. Proyección de la intensidad energética final del Ecuador, escenario BAU, EPA y DES



Fuente: Simulación SAME

- Costo nivelado de la energía eléctrica (LCOE)

La tendencia mundial es utilizar como energía secundaria la electricidad y que esta se genere a partir de las ERNC y la hidroenergía. El análisis comparativo de los escenarios determinó que el Ecuador posee un potencial cuantioso de estos recursos para generar electricidad. En el escenario DES, al considerar la matriz de generación eléctrica se puede lograr una matriz 100 % renovable con un gran aporte de las ERNC, la biomasa y la hidroenergía. El problema se origina, muchas veces, por la falta de inversión del gobierno o de los organismos internacionales para aprovechar estas fuentes o la idea de que las ERNC no son competitivas con los derivados de petróleo.

El LCOE permite determinar la energía más económica para la generación de electricidad sin considerar “la capitalización de los beneficios ambientales en términos de reducción de emisiones de GEI” (OLADE 2017c, 67). Para el cálculo considera los costos de inversión, operación, mantenimiento y combustible de cada una de las fuentes utilizadas para generar electricidad, datos obtenidos de la IEA que se presentan a continuación:

Tabla 4.11. Costos fijos, variables e inversión de generación eléctrica

Generación eléctrica-electricidad				
	Costos fijos	Costos variables	Costos de inversión	Vida útil
Tecnología	(1000 USD/MW)	(1000 USD/MW)	(1000 USD/MW)	(años)
Hidroeléctricas	30	5,20	1800	50
Gas Natural	11	3,50	978	30
Diesel-Fuel	7	5,85	1342	20
Biomasa	110	4,20	2500	30
Geotérmica	120	3,50	4000	20
Eólica	40	0,00	1850	20
Solar	23	0,00	2000	50
Nuclear	100	2,30	6000	20

Generación eléctrica-costos variables-combustibles (1000 USD/kbep)						
Tecnología	Petróleo	Gas natural	GLP	Gasolina	Diesel Oil	Fuel Oil
Gas Natural	-	16,24	-	-	-	-
Diesel-Fuel	47,58	-	73,34	73,34	65,42	55,54

Fuente: IEA 2016

El cálculo del LCOE (USD/MWh) se lo realizó mediante la siguiente ecuación:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{C_i + C_v + C_f + C_{comb}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}}$$

Donde:

C_i = Costos de inversión en el año t

C_v = Costos variables de operación y mantenimiento

C_f = Costos fijos de operación y mantenimiento

C_{comb} = Costo de combustibles

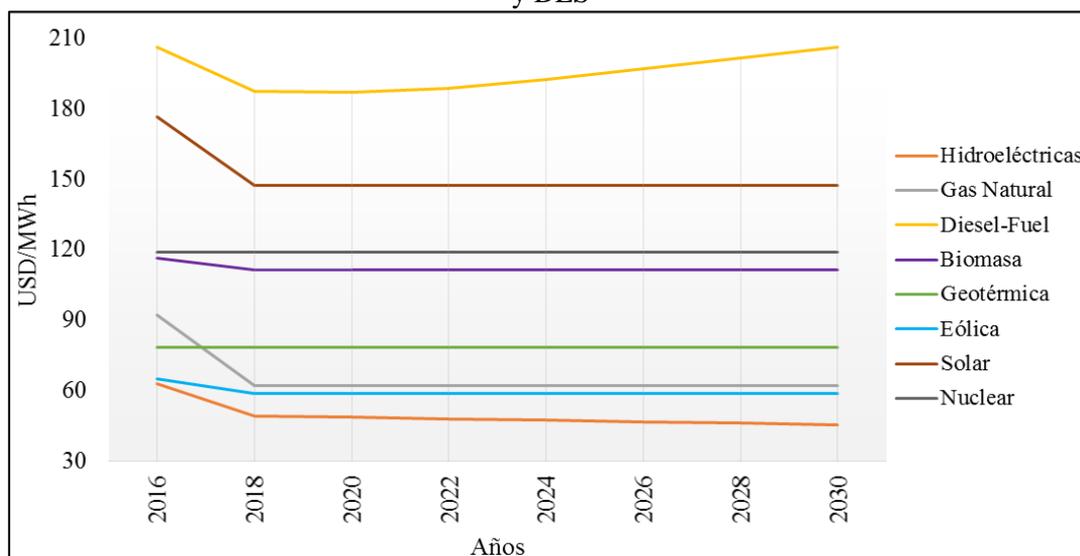
E_t = Electricidad generada

r = Tiempo de vida de la planta

t = Tasa de descuento (10 %)

Con esta información, se determinó que el LCOE de las hidroeléctricas es el más bajo. Para generar un MWh de electricidad a partir de la hidroenergía se necesitará aproximadamente 45 USD en el año 2030. La energía eólica es la que más puede competir con la hidroenergía al generar un MWh por cada 59 USD. La generación de electricidad a partir de la energía solar es la más costosa de las ERNC, aunque, si se considera el aspecto ambiental de esta fuente su LCOE la haría más competitiva. Los derivados de petróleo son las fuentes menos competitivas, para la generación de un MWh a partir del diésel se requiere 205 USD (ver gráfico 4.31.).

Gráfico 4.31. Proyección del costo nivelado de generación eléctrica del Ecuador, escenario BAU, EPA y DES



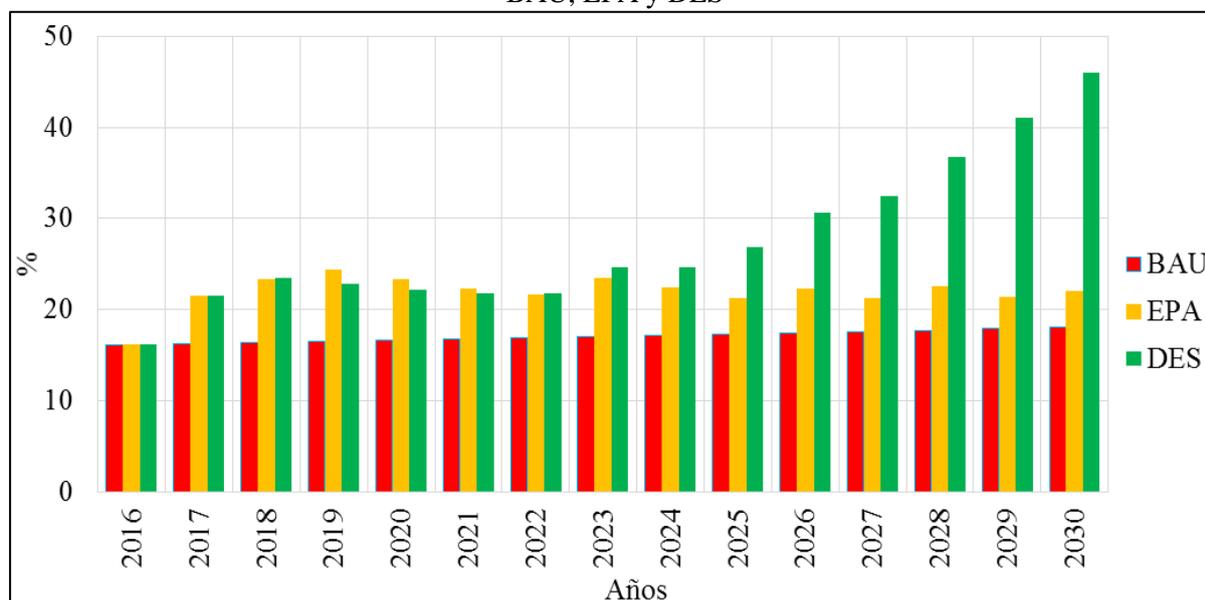
Fuente: Simulación SAME

- Índice de renovabilidad de la matriz de oferta interna total de energía

La energía puede provenir de fuentes fósiles: petróleo, carbón mineral y gas natural y de fuentes renovables: hidroenergía, biomasa, eólica, solar y geotérmica. La energía es fundamental para el desarrollo económico y social de un país, aunque no es recomendable que provenga de fuentes fósiles. De ahí que las medidas de eficiencia energética implementadas en el escenario DES y la diversificación de la matriz energética con fuentes de energía más amigables al ecosistema permiten disminuir el elevado consumo de dichas fuentes y con ello disminuir el grado de contaminación ambiental, en lo atinente a emisiones de GEI.

El Ecuador presenta en el escenario DES un índice de renovabilidad en constante aumento y mayor que en los escenarios BAU y EPA. Para el año 2030, el escenario DES alcanzará un índice superior al 45 %, triplicando la influencia de las energías renovables en la matriz de oferta total en relación al año 2016. Con las políticas actuales, el escenario EPA alcanzará un índice de renovabilidad menor al 25 % (ver gráfico 4.32.).

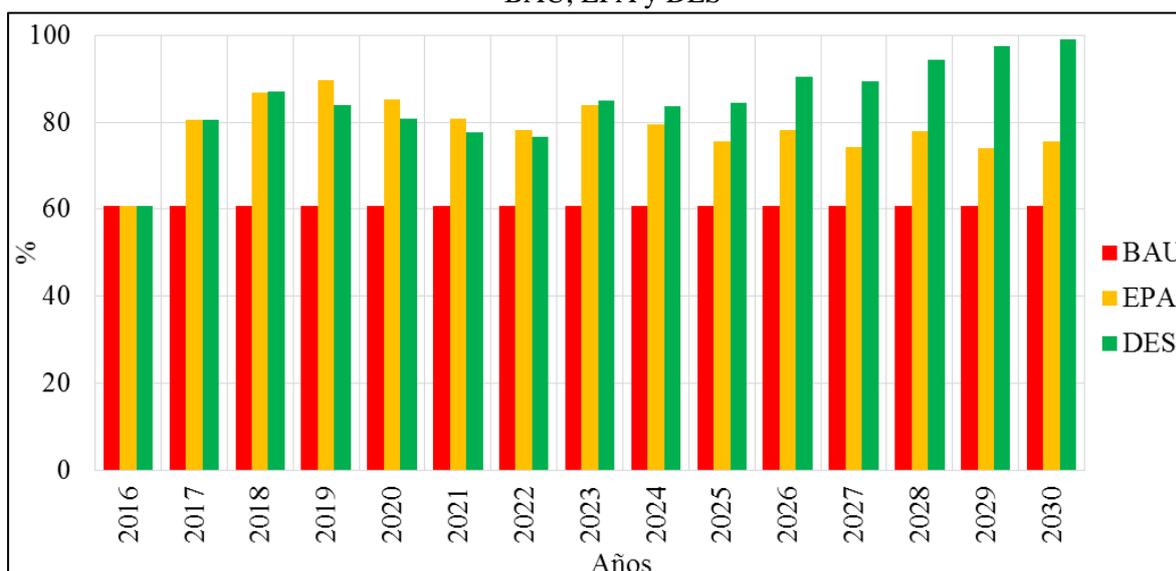
Gráfico 4.32. Proyección del índice de renovabilidad de la matriz energética del Ecuador, escenario BAU, EPA y DES



Fuente: Simulación SAME

El escenario DES permite avizorar que si se aplican políticas energéticas sostenibles con metas a largo plazo es posible pensar en una matriz de oferta total que cada vez depende menos de los combustibles fósiles. La evidencia se observa en el índice de renovabilidad de la generación eléctrica del Ecuador que al año 2030 tendrá una matriz 100 % renovable (ver gráfico 4.33.).

Gráfico 4.33. Proyección del índice de renovabilidad de la generación eléctrica del Ecuador, escenario BAU, EPA y DES



Fuente: Simulación SAME

- Índice de autarquía energética

Los índices de autarquía energética del Ecuador en todos los años de proyección son mayores a 1, lo que lo sitúa como un país autosuficiente y exportador neto de petróleo. Respecto a los escenarios, en promedio se observa un mayor índice en el escenario EPA. El escenario BAU mantiene los niveles de autarquía a lo largo de la proyección. Se esperaría que el escenario DES, en el cual se aplicó las medidas de eficiencia energética y disminuyó las importaciones de derivados de petróleo, tenga un índice de autarquía mayor que los escenarios BAU y EPA. Sin embargo, en muchos años de la proyección esto no sucede.

Esta disminución del índice de autarquía energética se produce ya que el escenario DES considera una utilización sostenible de los recursos no renovables, es decir que se exploten los yacimientos de petróleo de manera que se tenga reservas remanentes para una mayor cantidad de años. Además, la exportación de petróleo y gas disminuye para no aumentar la importación de diésel, gasolina y GLP. No depender de estos combustibles y generar energía a partir de la electricidad y fuentes de energía más eficientes permite alcanzar una mayor eficiencia en los usos finales (ver gráfico 4.34.).

Gráfico 4.34. Proyección del índice de autarquía energética del Ecuador, escenario BAU, EPA y DES



Fuente: Simulación SAME

4.5.3. Ambientales

- Participación de las ERNC en la oferta energética total

La diferencia que se alcanza en este indicador es muy amplia. En los escenarios BAU y EPA, la contribución a las ERNC es casi despreciable. En el año 2030, su aporte alcanza un 0,12 % y 0,31 % respectivamente. En cambio, la participación de las ERNC, en específico la energía eólica, geotérmica y solar, en el escenario DES permite pensar en una matriz diversificada, su aporte llega hasta el 14,09 % (ver tabla 4.12.).

Tabla 4.12. Participación de las ERNC en la oferta total de energía del Ecuador, escenario BAU, EPA y DES

Escenario/Año	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
BAU (%)	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12
EPA (%)	0,11	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,42	0,41	0,39	0,37	0,36	0,35	0,34	0,32	0,31
DES (%)	0,11	0,14	0,14	0,25	0,39	0,54	1,01	1,55	2,05	3,71	5,36	6,87	8,86	10,95	14,09

Fuente: Simulación SAME

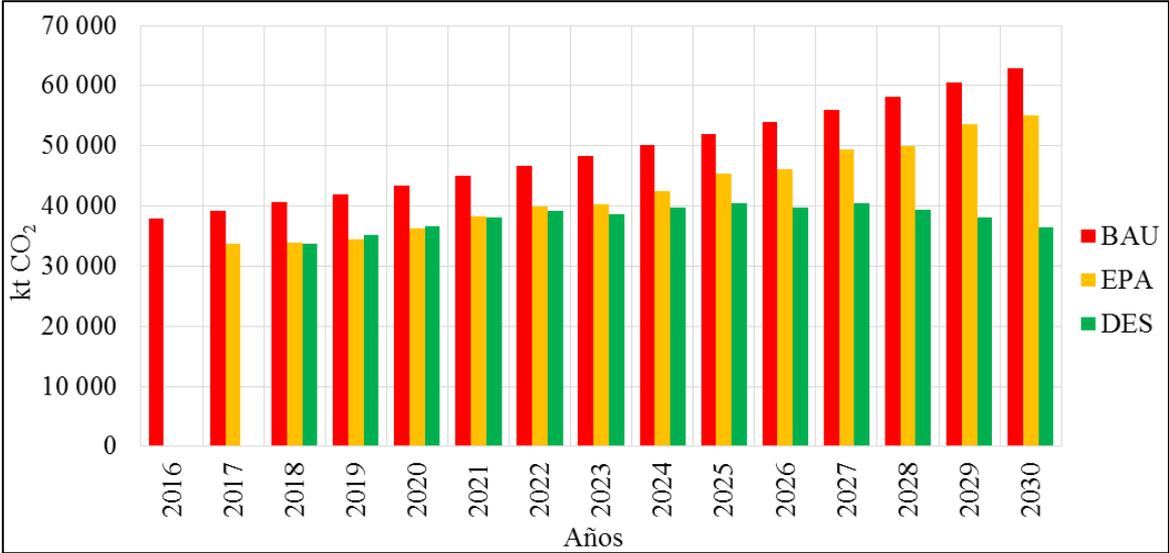
Como se ha descrito, los potenciales de energía eólica, geotérmica y solar son muy grandes. Uno de los problemas radica en que no existe apoyo a este tipo de fuentes en el Ecuador y en la mayor parte de los países latinoamericanos. Chile y Brasil son los países de la región que más han apoyado el desarrollo de estas fuentes. Es cierto que cada fuente de energía tiene sus limitaciones si se consideran los aspectos técnicos, económicos y ambientales. Pero los daños

al ecosistema, escasez de agua y la volatilidad de precios, son problemas que con el desarrollo de las ERNC se evitarían.

- Emisiones totales de CO₂

Los resultados de acuerdo al análisis de la prospectiva energética indican que las emisiones totales de CO₂ son crecientes en los escenarios BAU y EPA. Un resultado diferente se presenta en el escenario DES. Las emisiones para este escenario son crecientes hasta el año 2022 y a partir del año 2023 decrecen. Asimismo, a lo largo de la proyección el escenario DES presenta menor cantidad de emisiones. Esto es gracias a las medidas de eficiencia energética y la diversificación de la matriz de oferta total. Estas medidas permitieron la reducción del consumo energético y la generación de energía a partir de fuentes más eficientes (ver gráfico 4.25.).

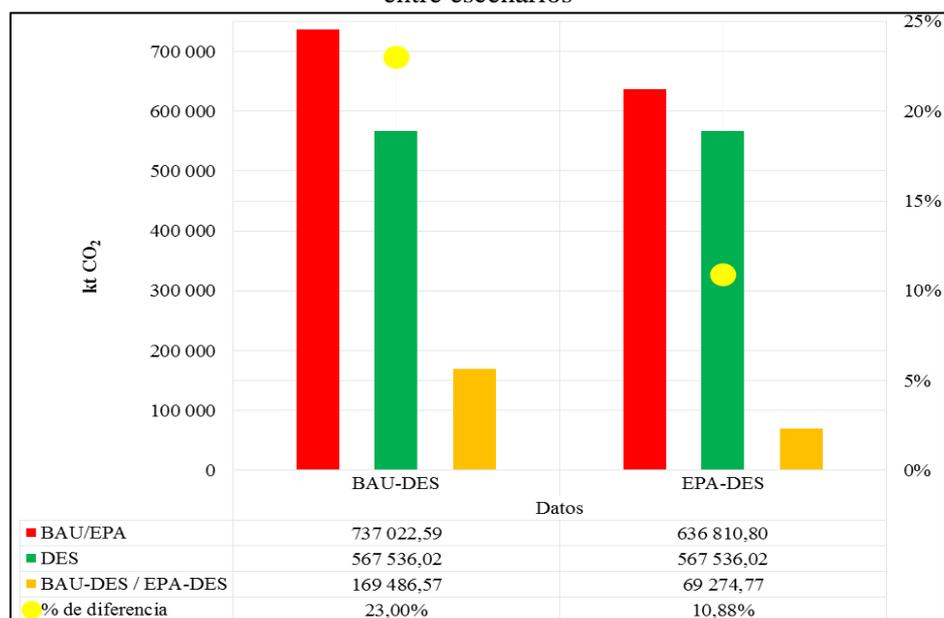
Gráfico 4.35. Proyección de las emisiones totales de CO₂ de la matriz energética del Ecuador, escenario BAU, EPA y DES



Fuente: Simulación SAME

La cantidad de emisiones evitadas en el escenario DES es de 169 486,37 kt CO₂ en relación al BAU lo que representa una reducción de emisiones del 23 %. Si se compara el escenario DES con el EPA se tiene una reducción de emisiones del 10,88 % (ver gráfico 4,36.).

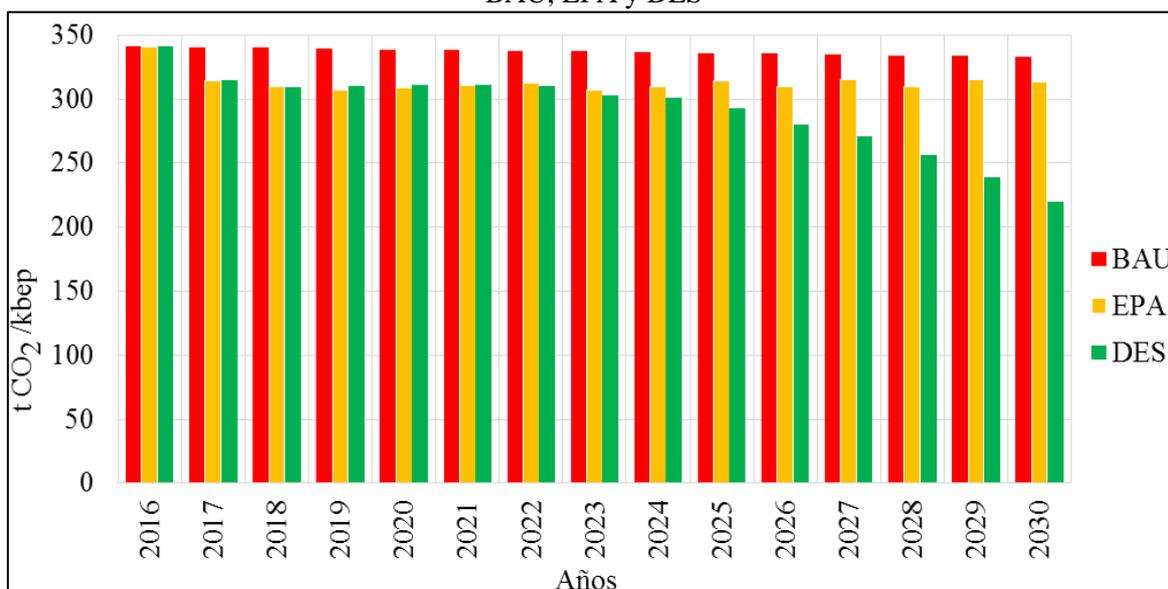
Gráfico 4.36. Emisiones totales de CO₂ acumuladas de la matriz energética del Ecuador, diferencias entre escenarios



Fuente: Simulación SAME

Un indicador que ayuda a clarificar la importancia de la reducción en las emisiones es el factor de emisión de CO₂ de la oferta total de energía. Este factor indica la cantidad de toneladas de dióxido de carbono (t CO₂) que se emite por cada mil barriles equivalentes de petróleo (kbep) producido (ver gráfico 4.37).

Gráfico 4.37. Proyección de los factores de emisión de la matriz energética del Ecuador, escenario BAU, EPA y DES



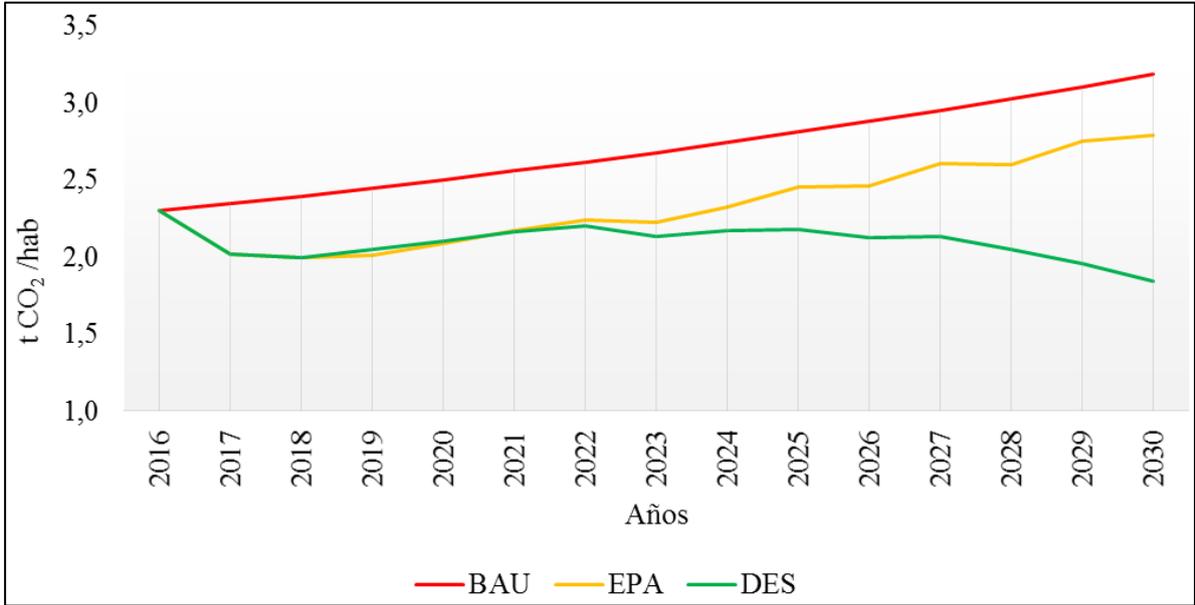
Fuente: Simulación SAME

En el gráfico anterior se observa una disminución paulatina de este factor en el escenario DES. En el año 2030, la diferencia de este indicador es significativa en los tres escenarios simulados. En el escenario DES se emiten aproximadamente 220 t CO₂ por cada kbep producido de la oferta energética. En cambio, para el escenario BAU y EPA las t CO₂ emitidas son superiores a 300 por cada kbep producido. Es decir, en el escenario DES se logra una matriz energética más limpia. La diferencia entre los escenarios sería mayor si se considera los otros GEI, como el metano (CH₄) que se emite en las centrales hidroeléctricas y explotación de hidrocarburos.

- Emisiones de gases de efecto invernadero per cápita

Este es un indicador que mide la ecoeficiencia por habitante. Si el valor de las emisiones per cápita disminuye, se puede pensar en un país con pautas de producción y consumo más sostenibles, gracias a las mejoras de eficiencia energética y el aumento de la proporción de las energías renovables. Este es el caso del escenario DES, donde se logra disminuir las emisiones per cápita hasta un valor menor a 2 t CO₂ /hab. Por el contrario, en el escenario BAU se alcanza un valor superior a 3 t CO₂ /hab (ver gráfica 4.38.).

Gráfico 4.38. Proyección de las emisiones de CO₂ per cápita del Ecuador, escenario BAU, EPA y DES



Fuente: Simulación SAME

Conclusiones

La matriz energética del Ecuador en el año 2016 es dependiente de dos fuentes de energía: petróleo e hidroenergía. El petróleo, gas natural e hidroenergía representan el 94,9 % de la oferta total de energía. La biomasa tiene un aporte del 5 %. La participación de las energías renovables no convencionales: energía eólica, solar y geotérmica es marginal. Su aporte no alcanza el 1 %, a pesar de tener un potencial de 313 784 MW, equivalentes al 93,4 % de la oferta de energías renovables.

De la misma manera, en la generación eléctrica la dependencia proviene de las centrales hidroeléctricas y las centrales térmicas con un aporte del 55 % y 40 % respectivamente. Esto refleja la estrategia del gobierno ecuatoriano hasta el año 2016, para conseguir un cambio en la matriz energética se centró en impulsar el desarrollo de grandes centrales hidroeléctricas, algunas ubicadas en la región amazónica y otras ubicadas en la región costera del Océano Pacífico. No obstante, tener a la hidroenergía como recurso principal de generación eléctrica y al estar la mayoría de las centrales asentadas en la Amazonía y sólo una parte en la región costera, hace que no exista el complemento ideal para una producción que requiere el suministro de la demanda. Esto se debe a que la etapa de lluvias en la región amazónica es de abril a julio, mientras que en la región del Océano Pacífico es de diciembre a mayo, y los meses de mayor demanda de energía en el país son de octubre a diciembre y en menor intensidad de marzo a mayo, necesitándose de otros tipos de fuentes de energía para producir electricidad entre diciembre y febrero.

Con respecto al consumo total de energía, existe una demanda del 78,1 % de petróleo y sus derivados. La hidroelectricidad solo representa un 16,8 %. El país cuenta con un Plan Maestro de Electrificación, pero este no ha considerado estrategias para reducir la demanda de los sectores que más consumen. A nivel sectorial el sector transporte es el que más consume, con un 51 %. El abastecimiento de dicho sector proviene de derivados de petróleo, que no pueden elaborarse en el país, lo que incrementa las importaciones de dichos derivados sin embargo de que el país exporta petróleo, aumentando a su vez las emisiones de gases de efecto invernadero. La planificación energética del Ecuador debe partir de estrategias que permitan el uso económico, racional y eficiente de los recursos energéticos, que permitan el consumo adecuado de la energía preservando sus recursos sin sacrificar la confianza, garantía y

disponibilidad para los usuarios industriales, comerciales, individuales y de servicios públicos.

De acuerdo a los resultados de los tres escenarios simulados: tendencial, políticas actuales y desarrollo energético sostenible, en el año 2030 se alcanza una matriz energética sostenible considerando los indicadores energéticos, socio-económicos y ambientales en el escenario de desarrollo energético sostenible. En el año 2030, este escenario permite obtener una matriz energética diversificada para el Ecuador al aplicar políticas que incentivan el desarrollo de las energías renovables no convencionales y medidas de eficiencia energética.

Los resultados de los indicadores energéticos, por el lado de la oferta muestran que al incentivar un desarrollo acelerado de las energías renovables no convencionales: eólica, solar y geotérmica, se alcanza una matriz de oferta total con un aporte de 45,75 % que proviene de energías renovables. La participación de la energía eólica, solar y geotérmica alcanza un 14,09 %. El petróleo y sus derivados y el gas natural aportan un 54,25 % a la oferta total de energía. Para ese mismo año, se alcanza una matriz de generación eléctrica 100 % diversificada, conformada por un 70,86 % de hidroenergía, un 22,96 % de las energías eólica, solar y geotérmica y el resto de la matriz se abastece de biomasa y biogás.

Por el lado de la demanda, las medidas de eficiencia energética implementadas en los sectores de mayor consumo del país: transporte, residencial, industrial y comercial permiten un ahorro acumulado de energía desde el año 2016 al 2030 de 43 521,44 kbep. Esta cantidad de energía es el equivalente a la mitad del consumo del año 2016, lo que denota un ahorro muy significativo. En el sector transporte, se produce una disminución en las importaciones de derivados de petróleo, en particular gasolina y diésel. El uso de la gasolina y diésel es reemplazado por la electricidad, etanol y biodiesel. Estas fuentes son más eficientes, lo que ocasiona beneficios a nivel social al reducir las pérdidas de transmisión y distribución, esto ayuda a que la energía útil se asemeje a la energía final. Para el año 2030, la electricidad, el etanol y el biodiesel aportarán un 20 % al sector transporte, contribución muy significativa si se compara con el año 2016, cuando la participación fue nula.

Un elemento a considerar en los sectores transporte y residencial es el subsidio vigente para la gasolina, diésel y gas licuado de petróleo. Esto ha ocasionado que estos sectores sean los más ineficientes al incrementar su demanda a tasas mayores que los demás países de la región. El

mayor consumo de estos derivados de petróleo no ha generado mayor valor agregado al país. Por ello, no se puede hablar de una transición o una diversificación energética sin replantear las políticas actuales de subsidios, que hasta la fecha solo han originado mayor impacto ambiental y un desincentivo en la electrificación del transporte o el desarrollo de fuentes como el etanol o los biocombustibles.

En el sector residencial, para disminuir el subsidio del gas licuado de petróleo, el Ecuador creó el programa de eficiencia energética para cocción por inducción. Este consistía en el reemplazo de cocinas de gas por cocinas eléctricas para aprovechar la energía generada por las hidroeléctricas y así reducir el subsidio, que para el año 2016 fue de 700 millones de dólares. A pesar de que, hasta el momento, este programa no ha sido ejecutado en su totalidad, en la presente investigación se simuló esta medida y se modeló un escenario paralelo al de desarrollo energético sostenible.

Los resultados obtenidos expresan que, en términos de ahorro energético, en el sector residencial desde el año 2016 al 2030, esta medida disminuiría el consumo de energía en 1,9 % y un 7,8 % si se compara con el escenario DES y el escenario EPA respectivamente. Del mismo modo, generaría una disminución en las emisiones de CO₂ e importaciones de gas licuado de petróleo a lo largo de la prospectiva. Las diferencias mencionadas demuestran que, con una pequeña política focalizada de eficiencia energética en los sectores más ineficientes, se puede lograr grandes beneficios económicos, sociales y ambientales.

Desde la dimensión económica, las medidas de eficiencia energética aplicadas al escenario de desarrollo energético sostenible exponen una influencia directa en la intensidad energética del país. Al disminuir el consumo energético se logra una disminución en la cantidad de energía requerida para generar riqueza. En el caso del Ecuador, para el año 2030 se requerirá 0,90 bep para producir 1000 USD de riqueza, energía inferior a la requerida en el año 2016 que se situó en 1,01 bep para cualquiera de los escenarios e igualmente inferior a la energía requerida del escenario tendencial y de políticas actuales en el año 2030 que será de 0,97 bep.

Como se puntualizó en la investigación, el Ecuador posee grandes potenciales de energía renovable no convencional y su despegue puede permitir un desarrollo energético sostenible. El problema se origina por la falta de apoyo por parte del gobierno, por la desinformación que genera el apostar por fuentes poco desarrolladas o quizá por la falta de incentivos para que

organismos internacionales las apoyen. Si solo se considera el aspecto económico, en la actualidad, la mayoría de las energías renovables no convencionales pueden competir con la energía hidráulica y todas son más competitivas en relación a los derivados del petróleo. Mediante el costo nivelado de energía se constata que las energías eólica y geotérmica pueden competir con la energía hidráulica en la generación de electricidad, al generar un MWh con 59 USD y 78 USD respectivamente, en tanto que la hidráulica necesita 45 USD. La energía solar es la más costosa de las energías no convencionales, requiere de 147 USD, esto debido a los costos de inversión. Aunque si se consideran los impactos ambientales ocasionados por las centrales eléctricas, las energías no convencionales serían aún más competitivas. Asimismo, este indicador muestra que para generar un MWh mediante diésel se necesitan más de 200 USD.

En cuestión de emisiones de CO₂, el escenario de desarrollo energético sostenible permite disminuir las emisiones en comparación con los otros escenarios simulados, donde existe un aumento lineal a lo largo de la prospectiva. El porcentaje de emisiones evitadas en este escenario es del 23 % y 11 % en relación al escenario tendencial y de políticas actuales respectivamente. Estos valores se dan gracias a la reducción de importaciones de gasolina y diésel, aumento del consumo de electricidad y sustitución de fuentes convencionales por fuentes más eficientes. De manera análoga, para el año 2030, el factor de emisión de CO₂ de la oferta total de energía para el escenario de desarrollo energético sostenible es menor. En este escenario por cada kbep producido se emiten 220 t CO₂. En el escenario tendencial y de políticas actuales por cada kbep producido se emiten 333 t CO₂ y 313 t CO₂ respectivamente.

El Ecuador puede alcanzar una matriz energética diversificada. Al igual que la mayoría de países de América Latina, el país es un territorio rico en recursos naturales renovables y no renovables. Los recursos no renovables han sido explotados en gran magnitud, tanto recursos petroleros como mineros. De ahí que aprovechar el potencial renovable es la tarea pendiente del gobierno ecuatoriano. El aprovechamiento debe darse en todas las fuentes de energía disponibles. Para ello, se debería seguir las políticas implementadas en el escenario DES, donde fuentes como la energía eólica, solar y geotérmica son aprovechadas y tienen una participación importante en la oferta total de energía.

La transición energética en Ecuador es viable. Sin embargo, como estudios previos muestran, la transición energética es un proceso complejo, lento y con metas a largo plazo y requiere

que se cumplan condiciones económicas, sociales y geopolíticas (Van den Bergh y Oosterhuis 2005). Con el fin de lograr la transición, al país le corresponde planificar con un horizonte a largo plazo y no pensar en satisfacer la demanda de energía con recursos que se agotan, con proyectos centralizados de generación que son costosos e ineficientes o con importación de derivados de petróleo.

Los esfuerzos realizados para alcanzar una matriz energética diversificada han estado ligados a un cambio en la planificación, pero dicho cambio se ha decantado por una matriz centrada en petróleo e hidroenergía. Los megaproyectos hidroeléctricos del país que operan en la actualidad son ineficientes, ya que no están operando a su máxima capacidad. Al respecto Villavicencio (2011, 292) afirma que “la diversificación energética en el Ecuador debe sustentarse en la incorporación gradual y planificada de proyectos energéticos, en función de las necesidades y recursos disponibles”. Esto indica que los recursos económicos se deberían destinar a todas las fuentes de energía renovable con potencial y el apoyo debe ser a lo largo del tiempo con la finalidad de evitar inversiones estériles de alto riesgo y poco rentables.

La planificación energética en el Ecuador debe invitar a un cambio de visión en el desarrollo de proyectos energéticos, con procesos que promuevan la gestión social de los proyectos y las implicaciones directas en la seguridad y la sostenibilidad energética. El Plan Maestro de Electrificación y el Plan Nacional de Energía Renovable deberían ser instrumentos de gestión, que centren sus acciones en la aplicación de políticas con el fin de evitar la construcción de grandes centrales hidroeléctricas o térmicas y que fomenten el desarrollo de sistemas energéticos descentralizados o distribuidos, los cuales deberían tener como fuente principal las energías renovables no convencionales. La generación de energía a partir de la energía solar, eólica y geotérmica ayuda a disminuir la concentración de la generación, reduce la contaminación y proporciona seguridad energética.

No obstante, el desarrollo de los sistemas descentralizados implica desafíos a nivel de infraestructura e innovación tecnológica, lo que provoca mayores costos de generación. La prioridad de despacho es necesaria para reducir este desfase en términos económicos. Las energías renovables al ser energías no gestionables, es decir que se generan cuando existe el recurso deben despacharse primero. Las fuentes en su mayoría importadas como el diésel, fuel oil y gas licuado de petróleo deben despacharse al final por su alto costo. Este orden de

despacho incentiva a los productores de energías renovables y permite el mayor desarrollo de estas fuentes, pues, se garantiza que toda la energía que se produce sea despachada.

La transición constituye un proceso continuo, dinámico y evolutivo que requiere un cambio y desarrollo coordinado de aspectos tecnológicos, económicos, sociales, ambientales y políticos. Dicho cambio y desarrollo, se enfoca en satisfacer las necesidades actuales de energía, sin comprometer el suministro energético a las generaciones futuras. A fin de lograr que la energía disponible no se agote, el país necesita potenciar sus recursos mediante el aumento de inversión y decisiones políticas que inviten a que tanto el sector público y privado se interesen en los proyectos energéticos. Las políticas energéticas deberían sustentarse en un modelo de planificación a largo plazo, con énfasis en el uso más eficiente de energía y el autoabastecimiento. Esto a su vez permitiría consolidar un sistema energético más seguro y asequible para todos los habitantes y sentaría las bases para el desarrollo energético sostenible del país.

En definitiva, los resultados obtenidos mediante el modelo de simulación y análisis de la matriz energética muestran que una diversificación energética se debe plantear desde la oferta, con el desarrollo acelerado de las fuentes de energía con mayor potencial y desde la demanda, con medidas de eficiencia energética en los sectores de mayor consumo e ineficientes. Al momento de apostar por una diversificación energética, no solo se debe considerar indicadores económicos, los indicadores más representativos deberían ser los sociales y ambientales a fin de alcanzar un desarrollo energético sostenible. Además, el apoyo del gobierno con medidas que incentiven el incremento de inversión en las energías renovables no convencionales y el de la ciudadanía, mediante un uso responsable de los recursos son factores preponderantes para lograr una transición.

En este estudio de prospectiva se utilizó el balance energético en términos de energía final. Futuras investigaciones podrían enfocarse en realizar la prospectiva con el balance energético de energía útil y modelar los escenarios a nivel de uso final. Con ello, se podría aplicar medidas de eficiencia energética mejor focalizadas a cada sector de consumo, fuente energética o tecnología. También para el análisis de los indicadores ambientales se podría considerar todos los gases de efecto invernadero que producen las energías renovables y no renovables, en particular el metano. Esto con la finalidad de conocer en términos monetarios los impactos ambientales que se originan al generar energía mediante las centrales eléctricas.

Simbología

bep/hab	barriles equivalentes de petróleo por habitante
bep/k USD	barriles equivalentes de petróleo por cada mil dólares
°C	grados centígrados
CO ₂	dióxido de carbono
EJ	exajoules
GWh	gigavatios hora
GWh/año	gigavatios hora por año
kbep	miles de barriles equivalentes de petróleo
kWh/hab	kilovatios hora por habitante
km ²	kilómetros cuadrados
kt CO ₂	miles de toneladas de dióxido de carbono
kt CO ₂ /kbep	miles de toneladas de dióxido de carbono por cada mil barriles equivalentes de petróleo
Mbep	millones de barriles equivalentes de petróleo
MW	megavatios
Mt CO ₂ /año	millones de toneladas de dióxido de carbono por año
t CO ₂ /año	toneladas de dióxido de carbono por año
t CO ₂ /hab	toneladas de dióxido de carbono por habitante
USD	dólares
USD/kWh	dólares por kilovatio hora
USD/MWh	dólares por megavatio hora

Lista de referencias

- Álvarez, Eloy e Iñigo Ortiz. 2016. *La transición energética en Alemania (Energiewende). Política, Transformación Energética y Desarrollo Industrial*. Bilbao: Orkestra.
- Allen, Myles, David Frame, Katja Frieler, William Hare, Chris Huntingford, Chris Jones, Reto Knutti, Jason Lowe, Malte Meinshausen, Nicolai Meinshausen y Sarah Raper. 2009. "Emissions targets must be placed in the context of a cumulative carbon budget if we are to avoid dangerous climate change". *Nature Reports Climate Change* 3, Macmillan Publishers Limited, 56-58, <https://doi.org/10.1038/climate.2009.38>
- Arizkun, Alejandro. 2013. "La energía. Retos y problemas". *Economista sin fronteras* 24: 6-9.
- Banco Mundial. 2017. "Ecuador: Panorama General", <http://www.bancomundial.org/es/country/ecuador/overview>
- Berkhout, Frans, David Ángel y Anna Wiczorek. 2009." Sustainability transitions in developing Asia: Are alternative development pathways likely?" *Technological Forecasting and Social Change* 76: 215-217, <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2008.04.003>
- Berkhout, Frans, Peter Marcotullio y Tatsuya Hanaoka. 2012." Understanding energy transitions". *Sustain sci* 7: 109-111, <https://doi.org/10.1007/s11625-012-0173-5>
- Bernitat, Pablo. 2016. *Transición energética justa. Pensando la democratización energética*. Montevideo: Friedrich-Ebert-Stiftung.
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie). 2015. *Juntos por el éxito de la transición energética. Hacia un futuro energético seguro, limpio y asequible*. Berlín: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.
- Casado, María. 2016. "El futuro energético de Japón: entre el regreso a la senda nuclear y el giro a las renovables". *Revista UNISCI* 41: 71-103. Madrid: Universidad Europea de Madrid.
- Castro, Miguel. 2011. *Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador*. Editado por Joerg Elbers. Quito: Centro Ecuatoriano de Desarrollo Ambiental.
- . 2012. "Reflexiones sobre una transición energética global y en Ecuador". *En Ecuador ¿estamos en transición hacia un país pospetrolero?*, editado por María Eugenia Hidalgo y Joerg Elbers, 27-64. Quito: Centro Ecuatoriano de Desarrollo Ambiental.
- CEPAL (Comisión Económica para América Latina y El Caribe). 2016. *Horizontes 2030. La*

- igualdad en el centro del desarrollo sostenible*. Santiago: Comisión Económica para América Latina y El Caribe.
- Cohen, Maurie, Halina Brown y Philip Vergragt. 2010. "Individual consumption and systemic societal transformation: introduction to the special issue". *Sustainability: Science, Practice, and Policy* 6(2): 6-12, <http://dx.doi.org/10.1007/s11625-012-0173-5>
- Connolly, David, Henrik Lund, Brian Mathiesen, y Martín Leahy. 2010. "A review of computer tools for analysing the integration of renewable energy into various energy systems". *Applied Energy* 87 (4): 1059–1082, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.09.026>.
- Dafermos, George, Panos Kotsampopoulos, Kostas Latoufis, Ioannis Margaris, Beatriz Rivela, Fausto Paulino Washima, Pere Ariza-Montobbio y Jesús López. 2015. "Energía: conocimientos libres, energía distribuida y empoderamiento social para un cambio de matriz energética". En *BUEN CONOCER FLOK SOCIETY Modelos sostenibles y políticas públicas para una economía social del conocimiento común y abierto en Ecuador*, editado por David-Vila Viñas y Xabier E. Barandiaran, 431–76. Quito: Creative Commons.
- Dasgupta, Partha y Geoffrey Heal. 1979. *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Díaz, Darío. 2010. "La energía y la teoría neoclásica del crecimiento". *Saberes* 2, 23-39.
- Duval, Guillaume y Madeleine Charru. 2018. *Comment accélérer la transition énergétique? Avis sur la mise en œuvre de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV)*. Paris: Les éditions des journaux officiels.
- Fornillo, Bruno. 2017. "Hacia una definición de transición energética para Sudamérica: antropoceno, geopolítica y posdesarrollo". *Prácticas de oficio. Investigación y reflexión en Ciencias Sociales* 20 (2): 46-53.
- Fouquet, Roger y Peter Pearson. 2006. "Seven centuries of lighting services in the United Kingdom: The Price and Use of Light in the United Kingdom (1300-2000)". *The Energy Journal* 27 (1): 139-177, <https://sci-hub.tw/https://www.jstor.org/stable/23296980>
- Fouquet, Roger. 2010. "The slow search for solutions: lessons from historical energy transitions by sector and service". *Energy Policy* 38 (11): 6586-6596, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.029>
- Frei, Christoph, Pierre Haldi y Gérard Sarlos. 2003. "Dynamic formulation of a top-down and bottom-up merging energy policy model". *Energy Policy* 31 (10): 1017–31,

- [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(02\)00170-2](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(02)00170-2).
- Gallego, Sergio, Agustín Sánchez, Ana Rodríguez, Carmen Avilés y Manuel López. 2015. *Conceptos básicos de la huella del carbono*. Madrid: AENOR.
- Geels, Frank 2002. “Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multilevel perspective and a case-study”. *Research Policy* 31 (8-9), 1257-1274, [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- 2004. “From Sectoral Systems of Innovation to Socio-Technical Systems: Insights about Dynamics and Change from Sociology and Institutional”. *Research Policy* 33 (6-7): 897-920, <http://filer.sustrans.dk/28/9.%20Geels%20-%20Sociotechnical%20systems,%20RP.pdf>.
- Godet, Michel y Phillipe Durance. 2009. *La prospectiva estratégica para las empresas y los territorios Serie de Investigación N° 10*. Paris: Cuaderno del LIPSOR.
- Gómez, Luis y Luis Posada. 2003. *Cambios en las relaciones Economía-Naturaleza*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Guamán, Wilian. 2017. “Impacto del cambio de la matriz energética del Ecuador mediante indicadores de sostenibilidad energéticos: escenarios posibles y recomendaciones”. Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Madrid.
- Hartwick, John. 1977. “Intergenerational Equity and the Investing of Rents from Exhaustible Resources”. *The American Economic Review* 67 (5): 972-974, <http://www.jstor.org/stable/1828079>
- IEA (International Energy Agency). 2014. “World Energy Outlook”. *Electronics and Power* 23 (4): 329, <https://doi.org/10.1049/ep.1977.0180>
- 2016. “World Energy Outlook“Key World Energy Statistics”, https://doi.org/10.1787/key_energ_stat-2014-en
- IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis). 2012. *Global Energy Assessment. Towards a sustainable future*. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis.
- Jacobson, Mark y Mark Delucchi. 2011. “Providing all global energy with wind, water and solar power, Part I Technologies, energy resources, quantities and areas of infrastructures and materials,” *Energy Policy* 39: 1154–69, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.11.040>
- Kern, Florian y Adrian Smith. 2008. “Restructuring energy systems for sustainability? Energy transition policy in the Netherlands”. *Energy Policy* 36: 4093-4103, doi: 10.1016/j.enpol.2008.06.018
- Könnölä, Totti, Robert Van Der Have y Javier Carrillo. 2012. “System Transition:

- Concepts and Framework for Analysing Nordic Energy System Research and Governance”. Working Papers 99, Nordic Energy Research y VTT Technical Research Centre of Finland.
- Le Fol, Yoann. 2012. “Renewable energy transition for a sustainable future in Namidia”. Tesis de maestría, Universidad de Aalborg.
- Lockwood, Matthew, Caroline Kuzemko, Catherine Mitchell y Richard Hoggett. 2013. “Theorising governance and innovation in sustainable energy transitions”. EPG Working Paper: 1304.
- Loorbach, Derk, Rutger Van der Brugge y Mattijs Taanman. 2008. “Governance in the energy transition: Practice of transition management in the Netherlands”. *International Journal of Environmental Technology and Management* 9 (2-3): 294-315, <http://www.inderscience.com/offer.php?id=19039>
- Lovins, Amory, 1976. “Energy strategy: the road not taken?” *Foreign Affairs* 55 (1): 65–96, https://courses.washington.edu/pbaf595/Readings/Lovins_1976.pdf
- Lund, Henrik. 2007. “Renewable energy strategies for sustainable development”. *Energy* 32 (6): 912–19, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.10.017>
- Martínez Alier, Joan y Klaus Schlupmann. 1987. *Ecological Economics: Energy, Environment, and Society*. Oxford: Blackwell's Book.
- MEER (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable). 2014. *Plan estratégico Nacional 2014-2017*. Quito: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.
- 2017a. Plan Maestro de Electricidad 2016-2025 (PME). Quito: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.
- 2017b. Plan Nacional de Eficiencia energética 2016-2035 (PLANEE). Quito: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.
- Melo, Yormy. 2013. “La energía como factor fundamental en el proceso económico”. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia.
- MICSE (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos). 2016a. *Agenda Nacional de Energía 2016-2040*. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.
- 2016b. *Balance Energético 2016, año base 2015*. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.
- 2017. *Balance Energético 2017, año base 2016*. Quito: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos.
- Morales, José. 2012. *Las claves del éxito en inversión de las energías renovables. La transición de un modelo económico “energívoro” a un modelo económico sostenible*.

- Instituto de estudios latinoamericanos*. Alcalá: Universidad de Alcalá.
- Muñoz, Jorge. 2013. *La Matriz Energética Ecuatoriana*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- 2016. *Perspectiva de la evolución de la energía en el Ecuador*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Nordensvärd, Johan y Frauke Urban. 2015. “The stuttering energy transition in Germany: Wind energy policy and feed-in tariff lock in”. *Energy Policy* 82: 156-165, <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.03.009>
- OLADE (Organización Latinoamericana de Energía). 2013. *SAME: Manual de usuario*. Quito: Organización Latinoamericana de Energía.
- 2017a. *Manual de Planificación Energética 2017*. Quito: Organización Latinoamericana de Energía.
- 2017b. *Manual de Balances Energía Útil 2017*. Quito: Organización Latinoamericana de Energía.
- 2017c. *Eficiencia Energética en América Latina y el Caribe: avances y oportunidades*. Quito: Hub de América Latina y el Caribe.
- 2017d. *Manual Estadística Energética 2017*. Quito: Organización Latinoamericana de Energía.
- 2017e. *Anuario de 2017 Estadísticas Energéticas*. Quito: Organización Latinoamericana de Energía.
- 2018. Sistema de Información Energética de América Latina y el Caribe (SIELAC). <http://sielac.olade.org/>
- Pacheco, Melisa y Yormy Melo. 2015. “Recursos naturales y energía. Antecedentes históricos y su papel en la evolución de la sociedad y la teoría económica”. *Energética* 45, 107-115, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=147040741010>
- Pellerin, Thomas, Jean Arnold, Eulalia Rubio y Sofia Fernandes. 2017. *Faire de la transition énergétique une réussite européenne. Démocratie, innovation, financement, social: relever les défis de l'union de l'énergie*. Paris: Institut Jacques Delors.
- Pokrovski, Vladimir. 2003. “Energy in the theory of production”. *Energy* 28: 769-788, [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(03\)00031-8](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(03)00031-8)
- REN 21 (Renewable Energy Policy Network for the 21st Century). 2010. *Renewables 2010 Global Status Report*. Paris: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century Secretariat.
- 2012. *Renewables 2012 Global Status Report*. Paris: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century Secretariat.

- Robalino, Andrés, Ángel Mena y José García. 2014. "System dynamics modeling for renewable energy and emissions: a case of study of Ecuador". *Energy for Sustainable Development* 20. Elsevier Ltd: 11-20, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2014.02.001>
- Robalino, Andrés y Zanna Aniscenko. 2017. "Ecological and Tecnological Aspects of Development. Descomposition Analysis of Energy Consumption Related to CO₂ Emissions in Ecuador". *Environment. Technology. Resources* 1: 229-334, <http://dx.doi.org/10.17770/etr2017vol1.2645>
- Roep, D., J.D. van der Ploeg y J.S.C Wiskerke. 2003. "Managing technical-institutional design processes: some strategic lessons from environmental co-operatives". *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences* 51 (1-2), 195-217, [https://doi.org/10.1016/S1573-5214\(03\)80033-7](https://doi.org/10.1016/S1573-5214(03)80033-7)
- Rotmans, Jan, René Kemp y Marjolein Van Asselt. 2001. "More evolution than revolution. transition management in public policy". *Foresight* 3(1): 15-31, <http://dx.doi.org/10.1108/14636680110803003>
- Sánchez, Julieta. 2015. *El Sector Energético del Ecuador y la diversificación de la Matriz Energética: El caso de Manta*. Durango: Editorial Universidad de Juárez del Estado de Durango.
- Sathaye, Jayant, Larry Dale, Peter Larsen, Gary Fitts, Kevin Koy, Sarah Lewis y Andre Lucena. 2012. *Estimating risk to California energy infrastructure from projected climate change. Final project report*. Sacramento: California Energy Commission.
- SENPLADES (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo). 2013. *Plan Nacional para el Buen vivir 2013-2017*. Quito: Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- SHE (Secretaría de Hidrocarburos Ecuador). 2017. *Informe anual del potencial hidrocarburífero del Ecuador 2017*. Quito: Secretaría de Hidrocarburos Ecuador.
- Shell International BV. 2008. *Exploring the future. Scenarios: an explorer's guide*. La Haya: Shell International BV.
- Sgouridis, Sgouris y Denes Csala. 2014. "A Framework for Defining Sustainable Energy Transitions: Principles, Dynamics, and Implications". *Sustainability* 2014 (6): 2601-2622, <https://doi:10.3390/su6052601>
- Smil, Vaclav. 2010. *Energy transitions: History, requirements, prospects*. Santa Bárbara, California: Praeger.
- Stephens, Jenny, Elizabeth Wilson y Tarla Peterson. 2008." Socio-Political Evaluation

- of Energy Deployment (SPEED): An integrated research framework analyzing energy technology deployment”. *Technological Forecasting and Social Change* 75: 1224-1426, <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2007.12.003>
- Stiglitz, Joseph. 1974. “Growth with exhaustible natural resources: the competitive economy”. *The Review of Economic Studies* 41: 139-152, <https://www.jstor.org/stable/pdf/2296378.pdf?refreqid=excelsior%3Afb1d809915e9e8fb78062aac829c4c0>
- Tissol, Catherine y Coule Jouzel. 2013. *La transition énergétique: 2020-2050: un avenir à bâtir, une voie à tracer*. Paris: Les éditions des journaux officiels.
- Vallejo, Gabriel. 2016. “Buen clima para la paz”. En *El Acuerdo de París*. Así actuará Colombia frente al cambio climático, compilado por Carolina García, 3-51. Cali: WWF-Colombia.
- Vallejo, María Cristina. 2013. “Seguridad Energética y Diversificación en América Latina: el Caso de la Hidroenergía”. *Revista Retos* 3 (6): 39-58. Quito: Editorial Abya Yala.
- Van Den Bergh, Jeroen y Frans Oosterhuis. 2005. “An evolutionary-economic analysis of energy transitions”. En *Managing the Transition to Renewable Energy. Theory and Practice from Local, Regional and Macro Perspectives*, editado por Jeroen Van Den Bergh y Frank Bruinsma, 149-176. Maastricht: Edward Elgar.
- Van Den Bergh, Jeroen y René Kemp. 2006. “Economics and Transitions: Lessons from Economics Sub-disciplines”. En *Managing the Transition to Renewable Energy. Theory and Practice from Local, Regional and Macro Perspectives*, editado por Jeroen Van Den Bergh y Frank Bruinsma, 81-128. Maastricht: Edward Elgar.
- Vélez, Karen. 2014. “El cambio de la matriz energética en el Ecuador (2007-2014)”. Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador.
- Villavicencio, Arturo. 2011. “Un cambio neodesarrollista de la matriz energética. Lecturas críticas”. *Letras Verdes* 20: 267-87.
- Zhu, Zhao, Da Zhang, Peggy Mischke y Xiliang Zhang. 2015. “Electricity generation costs of concentrated solar power technologies in China based on operational plants”. *Energy* 89: 65-74, https://globalchange.mit.edu/sites/default/files/MITJPSPGC_Reprint_15-24.pdf