



universidad
de león

TESIS DOCTORAL

**PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA INTELIGENTE A
LARGO PLAZO INTEGRANDO SISTEMAS DE
ENERGÍAS RENOVABLES PARA CUBRIR LA
DEMANDA ELÉCTRICA FUTURA DEL ECUADOR**

D. Daniel Icaza Álvarez

Programa de doctorado:

DOCTORADO EN INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y COMPUTACIÓN

Tutor: Dr. David Borge Diez

Dirigida por: Dr. David Borge Diez

León, 2023

Obra bajo licencia Creative Commons modalidad by-nc-nd



Reconocimiento - No Comercial - Sin Obra Derivada (by-nc-nd)

Esta licencia no permite la generación de obras derivadas ni hacer un uso comercial de la obra original, es decir, sólo son posibles los usos y finalidades que no tengan carácter comercial. Esta es la licencia Creative Commons más restrictiva.

DEDICATORIA

A mi esposa Marilú y a mi hijo Fernando quienes han sido el pilar fundamental por su apoyo completo. Un agradecimiento especial a mi madre quien siempre ha estado apoyándome moralmente con sus sabios consejos.

AGRADECIMIENTOS

Con la ayuda de las personas que nos rodean no hubiese sido poder alcanzar esta meta trazada, agradezco inmensamente a todos.

Considerando a las personas, en primer lugar, quiero agradecer a mi tutor el Dr. David Borge-Diez por la confianza que depositó en mí; con su respaldo desde el principio, hasta llegar a finalizar esta investigación. En segundo lugar, agradecer al Ing. Federico Córdova por todo el apoyo, no solo siendo parte de su equipo de trabajo, sino también por su motivación permanente, su ejemplo de lucha y la búsqueda permanente de cambios sustanciales en las actividades que se desempeñan.

También debo agradecer a la Universidad de León por permitirme ser parte de ella y lograr culminar con éxito este doctorado, de igual manera no puedo dejar de mencionar a la Universidad Católica de Cuenca, institución que confió en mis capacidades y poder en algo retribuir con mi labor de Docente e Investigativa.

A todos mis compañeros de la Carrera de Ing. Eléctrica y principalmente a mis compañeros de oficina, Santiago Pulla y Carlos Flores los que han participado con sus recomendaciones a lo largo de estos años, GRACIAS POR TODO.

INDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE TABLAS	13
NOMENCLATURA	15
1. INTRODUCCIÓN	17
1.1 MARCO REFERENCIAL.....	26
1.1.1 <i>Situación en América del Sur</i>	32
1.1.2 <i>Expectativa energética de América del Sur</i>	34
1.1.3 <i>Incidencia de las Energías Renovables en América del Sur</i>	37
1.1.4 <i>Sudamérica y predisposición por las energías renovables</i>	38
1.2 CONTEXTO ENERGÉTICO ECUATORIANO.....	47
1.2.1 <i>Historia de la producción neta de energía</i>	51
1.2.2 <i>Producción de energía por fuente de generación</i>	54
1.2.3 <i>Historia de la demanda total</i>	56
1.2.4 <i>Transacciones internacionales de electricidad con Colombia y Perú</i>	57
1.2.5 <i>Estrategias de Eficiencia Energética</i>	60
1.3 SITUACIÓN INICIAL DE LA CIUDAD DE CUENCA-AZUAY INMERSA EN EL CONTEXTO NACIONAL ECUATORIANO.....	63
1.3.1 <i>Energía Eólica</i>	63
1.3.2 <i>Energía solar FV</i>	64
1.3.3 <i>Energía geotérmica</i>	65
1.3.4 <i>Energía hidráulica</i>	66
1.4 MODELO ENERGÉTICO CON VISIÓN A 2050.....	67
1.4.1 <i>Efectos técnicos</i>	67
1.4.2 <i>Coste de la energía</i>	69
1.4.3 <i>Índice de Desarrollo Humano (IDH)</i>	69
1.6 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA TRAZAR LOS ESCENARIOS AL 2050.....	73
1.7. <i>Resultados y análisis del sistema energético ecuatoriano</i>	75
1.8. FACTOR DE IMPACTO DE LAS PUBLICACIONES.....	87
1.8.1. <i>Analysis and proposal of energy planning and renewable energy plans in South America: Case study of Ecuador</i>	87
1.8.2. <i>Proposal of 100% renewable energy production for the City of Cuenca- Ecuador by 2050</i>	87
1.8.3. <i>Renewable energy driven heat pumps decarbonization potential in existing residential buildings: Roadmap and case study of Spain</i>	87
1.8.4. <i>Combined vehicle to building (V2B) and vehicle to home (V2H) strategy to increase electric vehicle market share</i>	88
1.8.5. <i>Modeling and Simulation of a Hybrid System of Solar Panels and Wind Turbines for the Supply of Autonomous Electrical Energy to Organic Architectures</i>	88
1.9. RESUMEN DE CONTEXTO DE LOS ARTÍCULOS CIENTÍFICOS QUE CONFORMAN LA TESIS DOCTORAL....	89
Artículo científico 2 “ <i>Proposal of 100% renewable energy production for the City of Cuenca- Ecuador by 2050.</i> ”.....	91
Artículo científico 3 “ <i>Renewable energy driven heat pumps decarbonization potential in existing residential buildings: Roadmap and case study of Spain</i> ”.....	91
Artículo científico 4 “ <i>Combined vehicle to building (V2B) and vehicle to home (V2H) strategy to increase electric vehicle market share</i> ”.....	91
Artículo científico 5 “ <i>Modeling and Simulation of a Hybrid System of Solar Panels and Wind Turbines for the Supply of Autonomous Electrical Energy to Organic Architectures</i> ”.....	91
2. OBJETIVOS	93

2.1.	EVALUAR EL ESCENARIO BASE REFERENTE AL SISTEMA ELÉCTRICO ECUATORIANO Y TRAZAR EL ESCENARIO ENERGÉTICO DIVERSIFICADO PARA 2050 CON EL APOYO DE ENERGYPLAN.....	93
2.2.	APLICAR Y DESARROLLAR LA INVESTIGACIÓN EN BASE A MAPAS Y USOS DEL SUELO, ÁREAS DE INFLUENCIA DE ALIMENTACIÓN DE ELECTRICIDAD, ESTUDIOS DE MAPAS SOCIOECONÓMICOS.	93
2.3.	DISCUTIR LOS ESCENARIOS FUTUROS DE LA GENERACIÓN DIVERSIFICADA DE ENERGÍA.....	94
2.4.	APLICAR CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN Y DISEÑO CON EL SOPORTE DE ENERGYPLAN PARA QUE EL SISTEMA SEA ESTRUCTURADO DE LA MANERA MÁS ADECUADA.....	94
2.5.	REALIZAR AL MENOS TRES PUBLICACIONES DE RELEVANCIA E INDEXADAS EN BASES DE DATOS CIENTÍFICAS.	95
3.	PUBLICACIONES QUE CONFORMAN LA TESIS DOCTORAL.....	97
3.1.	PUBLICACIÓN 1: ANALYSIS AND PROPOSAL OF ENERGY PLANNING AND RENEWABLE ENERGY PLANS IN SOUTH AMERICA: CASE STUDY OF ECUADOR	99
3.2.	PUBLICACIÓN 2: PROPOSAL OF 100% RENEWABLE ENERGY PRODUCTION FOR THE CITY OF CUENCA- ECUADOR BY 2050.	101
3.3.	PUBLICACIÓN 3: MODELING AND SIMULATION OF A HYBRID SYSTEM OF SOLAR PANELS AND WIND TURBINES FOR THE SUPPLY OF AUTONOMOUS ELECTRICAL ENERGY TO ORGANIC ARCHITECTURES	103
3.4.	PUBLICACIÓN 4: RENEWABLE ENERGY DRIVEN HEAT PUMPS DECARBONIZATION POTENTIAL IN EXISTING RESIDENTIAL BUILDINGS: ROADMAP AND CASE STUDY OF SPAIN.....	105
3.5.	PUBLICACIÓN 5: COMBINED VEHICLE TO BUILDING (V2B) AND VEHICLE TO HOME (V2H) STRATEGY TO INCREASE ELECTRIC VEHICLE MARKET SHARE	107
4.	CONCLUSIONES	109
5.	RESUMEN	113
6.	BIBLIOGRAFÍA	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Capacidad eléctrica instalada por fuente en el periodo 2000-2040	28
Figura 2 Cambios en el consume de energía por sector 200-18 y por escenario al 2040.	29
Figura 3. Generación de energía renovable por sector en el escenario 2018-2040.	30
Figura 4. Capacidad Instalada en LAC.	35
Figura 5. Demanda eléctrica por subregión al 2040. Demanda PIB ponderada: Línea continua. Demanda de tendencia histórica: Línea punteada .	36
Figura 6. Proyección de Generación Eléctrica a Nivel Mundial en 2050.	37
Figura 7. Mezcla de generación de energía de América Latina. Presentado por [91] y adaptado según datos de [114].	38
Figura 8. Capacidad de energías renovables en América del Sur. Presentado por [113] y adaptado según datos de [105].	39
Figura 9. Líneas de transmisión en Sudamérica configuradas por distancia.	40
Figura 10. Capacidad instalada de RE. (a) Capacidad instalada en América del Sur. (b) Capacidad de almacenamiento de energía en América del Sur al 2030 en un escenario integrado.	41
Figura 11. Potencia Eléctrica instalada en los países de América del Sur.	45
Figura 12. Generación de energía por fuente en los países de América del Sur.	45
Figura 13. Índice de cobertura total para el acceso a la electricidad en Centroamérica y Sudamérica.	46
Figura 14. Estadísticas de participación de los sectores consumidores finales en diferentes países de América del Sur.	46
Figura 15. Áreas protegidas y concesión petrolera en la Amazonía del Ecuador.	50
Figura 16. Generación eléctrica por tipo de producción en Ecuador (GWh), 2019.	51
Figura 17. Generación de energía por tipo de transacción en Ecuador (GWh), 1999 – 2019.	53
Figura 18. Porcentaje de generación por tipo de producción en Ecuador, 2019.	54
Figura 19. Información operativa anual en Ecuador al 11 de junio de 2020. (a) Producción de energía por fuente en GWh. (b) Contribución porcentual del sistema de generación (c) Perfil de generación eléctrica, febrero 2019-febrero 2020.	55
Figura 20. Producción de energía con fuentes renovables en Ecuador(GWh), 2019	55
Figura 21. Comportamiento histórico de la demanda total en Ecuador (GWh), 1999 – 2019	57
Figura 22. Transacciones internacionales de electricidad en 2019. (a) Colombia. (b) Perú.	58
Figura 23. Análisis de precios de exportación de energía eléctrica. (a) Precios promedio TIE Colombia 2003 - 2019. (b) Precios promedio TIE Perú 2003 - 2019	59
Figura 24. Corte de balance del sistema eléctrico ecuatoriano marzo 2020.	62
Figura 25. Potencial eólico técnico (MW) y energía eólica (GWh/año) en provincias seleccionadas [29].	64
Figura 26. Energía eléctrica FV por provincia (GWh/año).	65
Figura 27. Ubicación del potencial geotérmico en el Azuay en el contexto Ecuatoriano [90]	66
Figura 28. Ubicación de plantas hidroeléctricas sobre los límites de la Provincia del Azuay dentro del contexto Ecuatoriano [29].	67
Figura 29. Modelo energyPLAN en la versión 15.0 [174].	75
Figura 30. Potencia instalada por fuentes en el escenario de 2020 a 2050 en Ecuador	76
Figura 31. Suministro de energía primaria en el año 2020 y 2050 en Ecuador	77
Figura 32. Mix de generación eléctrica renovable en el año 2050 [GWh]	79
Figura 33. Coste medio de producción.	83
Figura 34. Capacidad instalada por fuente en los años 2020 a 2050.	84
Figura 35. Generación eléctrica al 80% menos en hidroeléctrica.	85
Figura 36. Energía primaria en los años 2020 y 2050	85
Figura 37. Mix de generación de energía renovable en el año 2050 [GWh]	86

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Planes, Políticas o Metas para incrementar los niveles de penetración de las ER en los diferentes países de Sudamérica.	42
Tabla 2. Comparación de la riqueza de especies arbustivas y arbóreas en diferentes países.	48
Tabla 3. Características del contexto energético ecuatoriano.	53
Tabla 4. Programas ecuatorianos de eficiencia energética.	61
Tabla 5. Capacidad instalada actual y proyectada al 2050 en MW	76
Tabla 6. Estado actual vs escenario proyectado a 2050 100% renovable	78
Tabla 7. Trazado de escenarios para determinar el costo promedio de producción	82

NOMENCLATURA

ACM	<i>Absorption cooling machine</i>
CAPEX	<i>Capital Expenses</i>
CELAC	<i>Community of Latin American and the Caribbean</i>
COE	<i>Cost Of Energy</i>
COOTAD	<i>Organic Code of Territorial Organization Autonomy and Decentralization</i>
COP	<i>Coefficient of performance</i>
CL	<i>Cooling load</i>
CRF	<i>Capital Recovery Factor</i>
DHW	<i>Domestic hot water</i>
EEC	<i>Economic European Community</i>
EU	<i>European Union</i>
ESRL	<i>Electricity Sector Regime Law</i>
ESR	<i>Energy Supply Ratio</i>
ECLAC	<i>Economic Commission for Latin America and the Caribbean</i>
FPC	<i>Flat plate collectors</i>
GEP	<i>Generation Expansion Plan</i>
HDI	<i>Human Development Index</i>
HVAC	<i>High Voltage Alterna Current</i>
HVDC	<i>High Voltage Direct Current</i>
HL	<i>Heating load</i>
IDB	<i>Inter-American Development Bank</i>
IEA	<i>International Energy Agency</i>
IOT	<i>Internet of Things</i>
IRES	<i>Integrated Renewable Energy System</i>
ITT	<i>Ishpingo-Tambococha-Tiputini</i>

<i>LAFTA</i>	<i>Latin American Free Trade Association</i>
<i>LPG</i>	<i>Liquefied Petroleum Gas</i>
<i>N</i>	<i>Number of years</i>
<i>NCRE</i>	<i>Non-conventional renewable energies.</i>
<i>OPEX</i>	<i>Operating Expenses</i>
<i>PE</i>	<i>Primary energy</i>
<i>PV</i>	<i>Photovoltaic</i>
<i>RE</i>	<i>Renewable Energy</i>
<i>RF</i>	<i>Renewable Factor</i>
<i>TAPE</i>	<i>Total Additional Projected Energy</i>
<i>YNP</i>	<i>Yasuní National Park</i>

1. INTRODUCCIÓN

La necesidad del abastecimiento de energía en una forma adecuada es de preocupación de millones de personas alrededor del mundo [1,2]. El combustible se utiliza en varios campos del quehacer cotidiano, sus usos traen crecientes problemas ecológicos y sociales, incluyendo la interacción humana sobre la naturaleza [3]. A inicios del siglo XXI, la industrialización aceleró los procesos con la intensión de extraer masivamente los combustibles fósiles a un nivel que alarma a la comunidad internacional [4]. El cambio climático mundial se incluye también al problema de escasez de los combustibles fósiles [5]; claro ejemplo es el que se vive actualmente en el Ecuador, donde las reservas petroleras se van agotando a un ritmo acelerado y las empresas nacionales y extranjeras han puesto atención a las reservas petroleras en el Oriente Amazónico como es el Yasuní ITT donde la flora, fauna y los pueblos no contactados ven como una amenaza permanente que su hábitat natural sea destruido por los extractivistas [6,7].

Ecuador lanzó en el 2011 una iniciativa novedosa que promueve frenar el cambio climático y crear un nuevo paradigma, conocido como Yasuní-ITT [1,8,9], en la que consistía dejar a perpetuidad, bajo tierra y sin explotar, parte de sus reservas de petróleo en la región de mayor biodiversidad del mundo, comprometiéndose a no explotar el crudo del campo Ishpingo-Tambococha- Tiputini (ITT) que se encuentra en el Parque Nacional Yasuní, en la Amazonía ecuatoriana a cambio de compensaciones económicas de instituciones, gobiernos, inclusive de ciudadanos de distintas partes del mundo [8]. Esta idea considerada totalmente innovadora tuvo el concepto de dejar el carbón bajo tierra, consideradas el 20% de reservas petroleras existentes ecuatorianas, cercanos a los mil millones de barriles, para evitar las emisiones de 410 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera, según manifestó el exalcalde de Quito Roque Sevilla a BBC Mundo [9].

Para tener una idea, el Parque Nacional Yasuní rompe todos los récords de concentración de especies. A modo de ejemplo, se tienen más de 650 especies de árboles en una hectárea, en comparación con las mil especies que existen en toda Norteamérica [8,10]. Finalmente, esta iniciativa no logró obtener los recursos suficientes para dejar el crudo en tierra, tampoco se ha procedido a explotar el campo ITT, aún hay varios países que están apoyando se continúe con esta iniciativa para bien de la humanidad [1,9].

Analizada la situación ecuatoriana en esta tesis se busca dar una salida luego de haber realizado una investigación bastante profunda sobre la vía más adecuada para dejar de depender del petróleo proveniente sobre todo de la Amazonía. En este aspecto se realizó una propuesta de transición energética a largo plazo en base a los potenciales energéticos

renovables existentes en el Ecuador y progresivamente dejar atrás la utilización de los combustibles fósiles. Para trazar la hoja de ruta se empleó EnergyPLAN que es una herramienta efectiva y muy confiable que más adelante en la parte metodológica se aborda con mayor profundidad. Los análisis y resultados de esta investigación se destacan en la **publicación 1 “Analysis and proposal of energy planning and renewable energy plans in South America: Case study of Ecuador”** detallada en el punto 3.1. que consta principalmente de realizar una evaluación del sistema eléctrico ecuatoriano en el año base que para este caso es el año 2020. Precisamente, en el año base constan las capacidades de potencia instalada y los niveles de producción de energía tanto de fuentes renovables como de fuentes no renovables. El escenario base es un punto de partida importante para el diseño del escenario 100% renovable para 2050. Con esta información y la valoración de los potenciales energéticos viables y disponibles en territorio, con el apoyo de la herramienta EnergyPLAN se van trazando los escenarios con pasos de tiempo de 10 años hasta llegar al 2050. Con esta perspectiva y la corrida del programa, los siguientes escenarios con pasos de tiempo constan de tasas de disminución de energía proveniente de combustibles fósiles y por otra parte se aumentan las tasas de contribución de las renovables. La transición energética que se va efectuando siempre pone a buen recaudo a la demanda eléctrica, bajo ningún aspecto se pone en riesgo la continuidad o calidad del servicio de la demanda. Conscientes también que el problema del Ecuador también radica en la parte económica, en la *publicación 1* se han trazado los escenarios del costo de energía que estaría en función de las inversiones que se realizarían a largo plazo. Estos escenarios económicos brindan alternativas y se dan las pautas para que los tomadores de decisiones puedan discutir y comprometer los recursos económicos suficientes.

Bajo esta misma perspectiva de análisis en el Ecuador, se enfocó en investigar el efecto que lograría la transición energética en una de las Ciudades del Ecuador como es la Ciudad de Cuenca. Para este análisis mucho más puntual se aplicó una metodología similar a la aplicada en todo el Ecuador con el apoyo de la herramienta EnergyPLAN. Los aspectos que varían son los datos de entrada que corresponden a los directamente relacionados con el territorio circundante a la Ciudad de Cuenca, es decir la referente a la Provincia del Azuay. Dentro de las principales características es que en este caso de estudio existen muchas potencialidades energéticas diversificadas como la hidráulica, eólica, solar y en menor proporción la biomasa lo cual favorece el análisis con el software para plantear el escenario al 2050 en un esquema 100% renovable. De igual manera en este estudio que se detalla en la **publicación 2 “Proposal of 100% renewable energy production for the City of Cuenca- Ecuador by 2050”** se realiza un análisis de costos de producción de energía. Cabe indicar que en los escenarios planteados no se contemplan subsidios como ha sido característico en el Ecuador

en los últimos 40 años, siendo motivo de debates y en algunos momentos en confrontación entre sectores interesados.

El Ecuador está inmerso en una grave problemática, pues los combustibles y el gas doméstico son importados, debió destinar \$3.345 millones de dólares en el presupuesto anual 2022. Monto gigante que supera al gasto en salud pública en este año. En estas circunstancias la presión sobre los gobiernos para que aceleren la transición de hidrocarburos hacia energía más limpia es cada vez mayor, y más aún al sentirse con mayor intensidad las consecuencias del cambio climático.

El desarrollo de energías renovables representa el principal elemento de la transición energética. Tanto en Latinoamérica y específicamente en el Ecuador, en los últimos años la energía fotovoltaica y eólica se sumaron a las tecnologías ya maduras, como la hidroeléctrica, y hoy son las grandes protagonistas de la transición en curso.

Se viene demostrando que hay una tendencia importante a nivel mundial de que el sistema de abastecimiento de energía tendrá que cambiar por energías procedentes de fuentes renovables. Sin embargo, hay una gran cantidad de incertidumbre en su forma en que debe llevar a cabo [11–13]. En este manuscrito se presenta una hipótesis que permita visibilizar el futuro de la matriz energética del Ecuador en sus distintas etapas hasta el 2050, con énfasis en la Ciudad de Cuenca, dando un enfoque en la reducción de la contaminación atmosférica y mayor penetración de energía renovable [13–15]. El escenario que se maneja a nivel mundial está propuesto bajo el concepto de energía inteligente, que dinamiza el sector eléctrico, fundamentalmente mediante la integración de todos los sectores tecnológicos.

Con el fin de evitar la escasez de energía eléctrica, como los ocurridos de manera continua en el periodo de 1992-2007, el Gobierno nacional puso en marcha el denominado cambio de la Matriz Energética, con lo cual se proyectaron y se construyen una serie de proyectos de energía renovable de gran escala [16–19].

Las hidroeléctricas como una fuente de energía permanente, juegan un rol especial en la productividad del país, en parte al evitar la contaminación al dejar de utilizar los combustibles fósiles y por otro lado a su eficiencia y disponibilidad inmediata de generación [20,21], constituyendo en la actualidad la principal fuente de generación de energía al país y la mayor empleada [22–24]

A modo de ejemplo de los beneficios de la construcción de centrales hidroeléctricas en el país se puede citar al Proyecto Hidroeléctrico Coca Codo Sinclair, que con una potencia de 1500MW [25,26], tiene la capacidad de abastecer el consumo anual de energía de

aproximadamente 7.5 millones de ecuatorianos, reduciendo la emisión de 3,45 millones de toneladas de CO₂ a la atmósfera [27,28].

A pesar de los grandes avances en aspectos de producción hidroeléctrica a nivel nacional, el desarrollo de este sector no se puede limitar por lo que es importante también considerar proyectos de energía solar, eólica y biomasa [29]. Muestra de ello está la construcción del parque eólico de Villonaco en la Provincia de Loja [30,31] y el parque de energía solar en Galápagos [32]. El planteamiento es que no solo se requiere satisfacer las necesidades de energía actuales, sino también la energía que se necesita por el traspaso de utilizar energía producto de energías provenientes de combustibles fósiles y la creciente demanda por el aumento de la población [25,33].

En ese sentido, el 2015 fue uno de los años más positivos en relación a la adopción de medidas de mitigación ambiental utilizando energías renovables, pues en la COP 21 (Cumbre del Clima), realizada en la capital francesa [34], la comunidad internacional se comprometió en elaborar un plan de acción mundial que ponía el límite del calentamiento global muy por debajo de los dos grados centígrados [35,36].

Según estudios del Banco Interamericano de Desarrollo, BID, se calcula que el cambio climático le costaría a la región cerca del 1,5 al 5% del PIB regional [37,38]. Por ello se requiere más acciones que discursos cargados de buenas intenciones, así como financiamiento y políticas públicas que permitan la adaptación y mitigación respectiva [38,39].

En lo relacionado al entorno de la Ciudad de Cuenca, lugar donde se pone énfasis en el estudio, al ser considerada como Patrimonio Cultural de la Humanidad [39,40] y Patrimonio Natural por el Macizo del Cajas [41,42], acoge una gran cantidad de turistas nacionales y extranjeros, los territorios circundantes disponen de afluentes hídricos cercanos que son explotados y que abastece de energía hídrica a la ciudad y contribuye en gran medida al país [43], en especial la Cuenca del Río Paute [44] y la del Río Jubones [45]. Se explota en menor escala la biomasa en el relleno sanitario de Pichacay [46] y actualmente está en etapa de construcción el Proyecto eólico de Minas de Huascachaca [47]. También hay acciones importantes del sector privado donde se abastece de energía solar y se ven grandes oportunidades en esta fuente de energía, considerando que estamos en un país que está atravesado por la línea equinoccial donde se recibe la mayor radiación solar del planeta y que técnica y geográficamente presentan oportunidades de desarrollo y emprendimientos [48–50].

De ahí que como objetivo de desarrollo nos proponemos impulsar una economía que se sustente en el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales para satisfacer a la demanda a largo plazo que es de interés, que guarde el equilibrio con la naturaleza e

incorpore valor agregado a productos y servicios, acorde al Plan de Ordenamiento Territorial (POT) que rige en la ciudad de Cuenca y el Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización (COOTAD) vigente [51–53]. El llamado es a consolidar el cambio hacia una estructura productiva, sofisticada y diversa, que respondan a los acuerdos sobre la sostenibilidad ambiental como lo tratado en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP25) [54], para de esta forma se trace una hoja de ruta que vaya hacia una producción más limpia y eficiente [55,56]. En este sentido el gobierno nacional ha venido apoyando con acciones concretas en la década 2007-2017 [57], destinando presupuestos importantes y ha ratificado el actual gobierno ecuatoriano a continuar impulsando estos acuerdos globales [58].

Ecuador hace más de una década viene impulsando un cambio de la matriz productiva transfiriendo la energía basada en combustibles fósiles por la de energías limpias y renovables como reza en la Constitución de la República del Ecuador y que es un derecho al Buen Vivir en su capítulo II a vivir en un ambiente sano [59]. En el capítulo VI se consideran los derechos de la naturaleza, una de las pocas constituciones junto con la de Bolivia que brinda estos derechos y garantías [60]. En el anterior Plan Nacional del Buen Vivir como en el Plan Nacional Toda una Vida, se impulsó el uso de energías renovables, claramente se especifica en el Quinto objetivo: Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sostenible de manera redistributiva y solidaria, dentro de sus metas en su cuarto punto se consideró incrementar del 68,8% al 90% la generación eléctrica a través de fuentes de energías renovables a finales del 2021 [61].

También el Ecuador trabaja por migrar tecnologías obsoletas y contaminantes a nivel de demanda ya que no basta producir energía limpia cuando hay una demanda que aún contamina [62], en realidad en esta tesis se enfoca fuertemente a la generación de energía renovable para abastecer la demanda creciente y como caso de estudio se considera un área territorial ecuatoriana como es Cuenca. La gestión de lado de la demanda (DSM) es importante y se consolida con los criterios de eficiencia energética y los husos horarios adecuados y las horas de mayor consumo tiendan a bajar. Avances en este sentido están en constante progreso, gracias a la herramienta EnergyPLAN es posible a más de realizar las proyecciones al 2050 se puede optimizar el sistema conjunto y obtener los resultados más acordes por donde un país o en este caso la Ciudad de Cuenca debe transitar para aprovechar de mejor manera los recursos energéticos disponibles. La parte legal es de alta importancia también, la organización de un sistema energético no solo se debe ver desde un punto de vista tecno económico, podemos citar la promulgación de la nueva ley de eficiencia energética que exige que a partir del año 2025 se adquieran vehículos eléctricos de transporte público [63], sin embargo es de destacar que a más de la ley está la cooperación de

municipalidades y ciudadanía consciente de estos cambios en procura de proteger nuestro medio ambiente, dando origen por ejemplo a que se implementen nuevos taxis eléctricos en la ciudad de Loja [64], la puesta en funcionamiento del tranvía en la Ciudad de Cuenca [65,66], el cambio lento pero importante de cocinas de inducción eléctrica por las de GLP [67].

En la **publicación 5 “Combined vehicle to building (V2B) and vehicle to home (V2H) strategy to increase electric vehicle market share”** se destaca la utilización del potencial de almacenamiento de los vehículos eléctricos de batería (BEV) puede contribuir a la estabilidad de la red (V2G). Durante las últimas dos décadas, ha habido un considerable interés de investigación en la idea de que los vehículos electrificados podrían ofrecer beneficios tanto al sector del transporte como al de la energía cuando se logra un acoplamiento sectorial. En esencia, el concepto de vehículo a red (V2G) implica el flujo bidireccional de electricidad entre las redes eléctricas y diversas formas de transporte de una manera que es mutuamente beneficiosa. Incluye la idea de que los medios de transporte electrificados tendrán baterías que pueden ofrecer flexibilidad a los sistemas energéticos, mejorando así la eficiencia y rentabilidad de las redes eléctricas, permitiendo mayores proporciones de energía renovable, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para el sector del transporte y ofreciendo ingresos potenciales para los propietarios de vehículos. Esta flexibilidad vendrá en forma de la llamada carga inteligente o de permitir que los vehículos se carguen cuando la electricidad es abundante o cuando la demanda es baja y de descargar las baterías a la red en momentos en que la demanda excede la oferta. Esta flexibilidad se vuelve más relevante en los sistemas de energía que cuentan con una alta proporción de energía renovable variable, como la energía solar fotovoltaica (PV) y las turbinas eólicas.

Esta publicación tiene dos propósitos en esta tesis: El primero es evaluar el impacto que puede lograrse al cargar vehículos eléctricos en horas nocturnas donde los picos de energía no están presentes y más bien son bastante bajos los niveles de consumo y luego descargarlos durante el día en edificios donde se encuentran laborando y la energía tiene un precio alto. En esta parte no se pudo aplicar al Ecuador por carecer de flotas de vehículos eléctricos, pero en todo caso se asumió el caso de estudio aplicado para Madrid de España y los resultados fueron muy interesantes. Se muestra cómo la carga inteligente de BEV puede afectar positivamente a los sistemas de energía mediante el llenado de valles y la reducción de picos de los perfiles de carga. Además, se demostró cómo un uso más amplio de vehículos eléctricos puede ser un medio eficaz para gestionar los recursos de energía renovable variable. Además, la carga inteligente no tiene por qué imponer cargas innecesarias a los sistemas de energía si se gestiona correctamente, y la vida útil de las baterías de iones de litio para vehículos podría extenderse mediante estrategias V2G óptimas.

Sin duda que a mediano plazo en Ecuador logrará un significativo incremento de vehículos eléctricos propio de la dinámica tecnológica de la cual es imposible escapar, la presión aumentará por efectuar mejoras dentro de lo legislativo así como también deberán crearse incentivos para que los dueños de vehículos hagan sus descargas a la red o a las edificaciones de interés. El otro propósito que se tuvo con esta publicación es poder evaluar el impacto que tienen las energías renovables a nivel de hogar, en efecto si se dispone de un sistema híbrido como por ejemplo paneles solares fotovoltaicos y microturbinas eólicas se puede en gran medida bajar el rubro de pago en la planilla de pago a la empresa eléctrica local.

La **publicación 1 y publicación 2** sugirieron que una combinación de 100% de energía renovable y una combinación adecuada de soluciones de almacenamiento de energía (ESS) podría proporcionar la base de un sistema de energía sostenible y asequible para todo el Ecuador en 2050. Sobre todo, en la *Publicación 5* se demostró cómo las tecnologías de almacenamiento podrían contribuir a respaldar una gran proporción de energía solar fotovoltaica y eólica en especial en la región Interandina. Sin embargo, como la geografía y el sistema energético del Ecuador representan contextos únicos, entre ellos el tener sistemas sensibles como áreas protegidas con especies únicas en el planeta, a más de ciudades patrimoniales y por su puesto del Archipiélago de Galápagos que se ha considerado de especial interés se requería un análisis más específico y local. Además, siguiendo la idea de que la transición del sistema energético hacia una alta proporción de energías renovables podría lograrse en todo el Ecuador, tanto en sus regiones como las islas Galápagos. La transición hacia un sistema energético sostenible requerirá una variedad de soluciones complementarias de generación y almacenamiento de energía. Las investigaciones previas indican que se requerirá almacenamiento de electricidad después de que el 50% de la electricidad se genere a partir de ER variable, y que se requerirá almacenamiento estacional después de que ese nivel supere el 80%. Actualmente, hay una variedad de medidas de flexibilidad disponibles que soportan altos niveles de ER variable.

En este aspecto fue posible aprovechar las infraestructuras residenciales tipo avión disponibles en una localidad cercana a la Ciudad de Cuenca de Ecuador y llevar a cabo las investigaciones que incluyan un sistema híbrido eólico/fotovoltaico. En la **publicación 3 “Modeling and Simulation of a Hybrid System of Solar Panels and Wind Turbines for the Supply of Autonomous Electrical Energy to Organic Architectures”**, se logró identificar que gracias a que el Ecuador está atravesado por la línea ecuatorial se recibe una radiación solar mucho más directa de alrededor de los 480W/m² durante la mayor parte del día lo cual es considerado un potencial importante, de igual manera con respecto al viento se dispone de un potencial interesante que particularmente en este estudio estuvo sobre los

4.7m/s como promedio. En definitiva este estudio nos permitió evaluar la incidencia que pueden tener las energías renovables en las residencias y fue muy alentador dado que en lugares donde la empresa eléctrica no dispone de redes de distribución la utilidad es mayor dado que ya no se requieren de motores de combustión interna para la generación eléctrica, las personas no deben salir a las zonas urbanas para adquirir el combustible y por ende se ahorran costos de transportación a más de ganar seguridad ante posibles malas manipulaciones del diésel o gasolina y también se protege el medio ambiente.

Las implementaciones de sistemas de generación renovable van acompañadas de políticas de eficiencia energética en los edificios que es un tema central en la agenda de los responsables políticos internacionales y los gobiernos pero que en Ecuador aún requiere legislarse. En la UE, donde las existencias de edificios representan el 40 % del consumo total de energía, por ello fue importante desallollar la **publicación 4 “ Renewable energy driven heat pumps decarbonization potential in existing residential buildings: Roadmap and case study of Spain”** y efectuar un análisis convincente que referencien al Ecuador para lograr una transición energética ordenada y aprovechando los recursos geotérmicos disponibles al ser un país que dispone de un cordón volcánico en la región interandina y también en Galápagos. España es un gran referente, pone en práctica un fuerte impulso de las medidas de eficiencia energética de los edificios mediante directivas específicas, como la Directiva sobre la eficiencia energética de los edificios (DEEE) y la Directiva sobre eficiencia energética (DEE). Entre los puntos clave expuestos en los documentos de posicionamiento y documentos, se encuentra el reconocimiento de que la mayoría de los edificios que formarán las existencias de edificios de la UE en 2050 ya existen. Por lo tanto, la posibilidad de renovativa es esencial. Por otro lado, la EPBD introduce los requisitos específicos para todos los edificios nuevos y deben ser de energía casi nula (nZEB). Luego de haber realizado los análisis mediante EnergyPLAN con proyección al 2050 en un contexto edificado, incluyendo el aprovechando las bombas de calor para calentamiento de ambientes y de ser el caso en determinadas horas refrigerar. El efecto de las políticas energéticas en el rendimiento real de los edificios demostró ser eficaz.

En este marco, en Ecuador es esencial trabajar en soluciones de eficiencia energética diferentes e internacionales, no sólo dirigidas a la optimización de la eficiencia energética durante la construcción de nuevos edificios, sino también teniendo en cuenta sus necesidades energéticas globales durante su ciclo de vida. Las posibles medidas para mejorar la eficiencia energética de los edificios pueden clasificarse en tres categorías:

- Medidas pasivas: componentes y métodos que afectan la capacitancia térmica, la transmitancia y la inercia, las ganancias ambientales y solares, y la ventilación de los

edificios.

- Medidas activas: soluciones de alto rendimiento para la calefacción/refrigeración de espacios y la producción de agua caliente sanitaria (ACS).
- Técnicas de control para la automatización y gestión de edificios [10].

Hoy en día, la mayoría de las soluciones basadas en energías renovables se basan en una sola fuente de generación de energía, generalmente solar térmica. En los últimos años se prestó gran atención a los sistemas de pilas de combustible que pueden funcionar como sistemas combinados de calor y energía (CHP) para suministrar calor y ACS a edificios residenciales y no residenciales, empleando principalmente SOFC (Solid Oxide Fuel Cells) y PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell). Los sistemas alimentados por pilas de combustible, si se acoplan a bombas de calor o enfriadores térmicos, se pueden utilizar para la provisión de enfriamiento durante el verano. A pesar de ello, la relación de capacidad entre la energía térmica y eléctrica de las pilas de combustible puede plantear un problema en climas con alta demanda de calefacción de espacios, con la consiguiente necesidad de una caldera de gas de respaldo.

Otra solución que se está utilizando es la combinación híbrida de energía eólica y fotovoltaica como sistemas de energía de doble fuente que pueden producir electricidad para ser utilizada para uso directo en edificios y para impulsar bombas de calor tal cual se analiza en la **publicación 4** y puede acoplarse fácilmente a otras geografías como es el caso de Ecuador. Las tendencias actuales del mercado son hacia una reducción del coste de estas tecnologías, que pueden considerarse como alternativas válidas a los generadores de energía tradicionales. Sin embargo, existen algunos inconvenientes en su aplicación, principalmente vinculados a la intermitencia de las fuentes renovables, con la consiguiente necesidad de sistemas de almacenamiento (principalmente baterías) y generadores de respaldo.

Entre las fuentes de energía renovables para aplicaciones de construcción, la energía solar se aplica ampliamente en todo el mundo, para la calefacción directa. La aplicación de la energía solar en sistemas híbridos consiste principalmente en la combinación de sistemas solares térmicos y solares fotovoltaicos (PV) para calefacción/refrigeración, con bombas de calor y almacenamientos de energía térmica. La utilización de estos sistemas híbridos, con un control adecuado, permite un alto nivel de autoconsumo y un ahorro energético constante. También se puede obtener la cogeneración de energía térmica y eléctrica con paneles fotovoltaico-térmicos (PV-T). Para lograr una alta proporción de energías renovables, el uso de la energía solar como única fuente de generación, los sistemas pasivos y activos deben combinarse y esto solo es posible en climas favorables

y áreas con baja demanda de calefacción de espacios y alta irradiación solar. Otra solución híbrida alternativa que está ganando interés, es la combinación de energía solar con Organic Rankine Cycles (ORC) para la demanda de electricidad y calefacción de espacios.

Teniendo en cuenta las medidas activas, en definitiva, existen dos tendencias que permiten reducir las necesidades de energía primaria del sistema energético de un edificio: el uso de componentes avanzados en las raciones optimizadas, y la integración de fuentes de energía renovables.

Los escenarios de descarbonización para lograr cero emisiones netas de gases de efecto invernadero en el sector eléctrico ecuatoriano para 2050 se examinaron utilizando un modelo de simulación ascendente de generación de energía. Los escenarios examinados involucran la difusión de la tecnología actualmente disponible, incluidas casas altamente aisladas, equipos de alta eficiencia, diversificación de fuentes de generación, acciones de eficiencia energética integrada.

Las publicaciones apuntaron a cumplir con los objetivos planteados que en general consiste en evaluar el escenario base referente al sistema eléctrico ecuatoriano y trazar el escenario energético diversificado para 2050 con el apoyo de EnergyPLAN los mismos que fueron discutidos a profundidad desde el punto de vista técnico y socioeconómico. Para lo análisis se empleó la cartografía proporcionada por las entidades gubernamentales oficiales de Ecuador a más de las que se encuentran disponibles en los artículos científicos de alto impacto que son citados en la presente tesis. En EnergyPLAN se aprovecha el módulo de optimización para establecer un mix energético a largo plazo de forma optimizada y de acuerdo con el potencial energético disponible en territorio proporcionado por las bases de datos oficiales que son ampliadas en las 5 publicaciones y que son explicadas metodológicamente con mayor detalle a lo largo de esta tesis.

1.1 MARCO REFERENCIAL

Está en marcha una carrera en dos bandas entre el petróleo y las energías renovables para proporcionar energía y calor a las economías de rápido crecimiento en Ecuador. El petróleo es el principal en los países sudamericanos: las nuevas decisiones de inversión en infraestructuras que usan combustibles se han desacelerado drásticamente, situación que ha preocupado a los inversionistas en estas infraestructuras y que actualmente ofrecen resistencia al cambio y de alguna manera han incidido en la cooperación internacional [19].

El gran stock de plantas y fábricas de energía existentes que usan carbón proporciona poder de permanencia en el escenario de políticas declaradas a pesar que se planifican sistemas de energía de carbón tendientes a cero en Europa [9] y otros países asiáticos [68]. Johannes M. Kissel et al. mediante [69] trazan las piedras angulares para mercados emergentes de América del Sur para regular la emisión de carbono. Las energías renovables son el principal desafío para el carbón en el sector energético mundial.

La demanda de gas natural en el Ecuador ha incidido en los hogares y al ser subsidiado la mayoría de ciudadanos prefiere su utilización para calentamiento de agua y cocción de alimentos, sin embargo el gobierno está buscando la manera de contrarrestar este crecimiento con subsidios a la electricidad donde no se superen los 100KWh dado su aumento en la producción energética proveniente por fuentes de energías renovables que se incorporaron en la última década y que continúan penetrándose en el mercado nacional.

La Agencia Internacional de Energía publica en su última edición del 2019 mediante [2] indica que existe una expansión mundial de la generación a partir de la energía eólica y solar fotovoltaica y se muestra en la figura 1 que han despegado aceleradamente y se proyectan como las fuentes que van a dominar los sistemas de generación dadas las mejores condiciones de costos y la constante tendencia a la baja de las materias primas para la construcción de paneles y turbinas eólicas [70,71], conllevando a las energías renovables a superar el carbón y que difícilmente pueda encontrar nichos de mercado mundiales [63]. Para 2040 según las proyecciones realizadas por [2], las fuentes bajas en carbono proporcionan un poco más de la mitad de la generación total de electricidad. La energía eólica y la energía solar fotovoltaica son las que dominarán el mercado, la hidráulica continuará ocupando importantes lugares en generación.

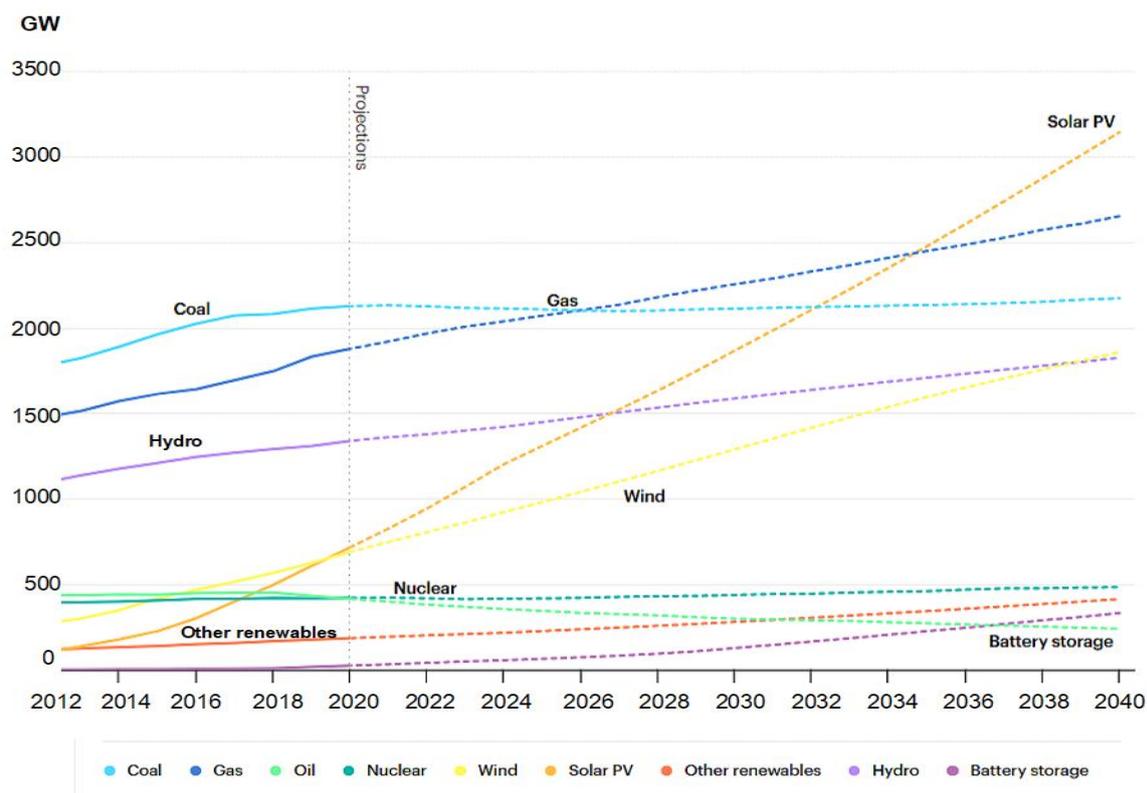


Figura 1. Capacidad eléctrica instalada por fuente en el periodo 2000-2040 [2].

Otro de los aspectos que preocupan a nivel mundial es el impulso de mejoras en lo relacionado a la eficiencia energética. El contexto general es de necesidades crecientes en relación a calefacción urbana, refrigeración, sistemas de iluminación, transporte y otros servicios de energía eléctrica [72,73]. Las mejoras en la actividad energética trascienden en la economía global (cantidad de energía empleada por actividad económica) se están desacelerando: la mejora del 1.2% en 2018 fue alrededor de la mitad de la tasa promedio observada desde 2010 [2]. Esto implica una relativa falta de políticas públicas definidas de eficiencia energética y la necesidad de endurecer las actuales [67].

Una fuerte mejora en la eficiencia es el elemento más importante que lleva al mundo hacia el Escenario de Desarrollo Sostenible [25]. La búsqueda permanente de oportunidades económicamente viables en los distintos países, especialmente de consumo como el sudamericano pueden mejorar la eficiencia y reducir la intensidad energética global en más del 3% anual [25,62]. Exige realizar esfuerzos por parte de los gobiernos, ONGs, sector privado para promover la realización de diseños eficientes, el uso y el reciclaje de materiales como acero, aluminio, cemento y sobre todo el plástico que tanta dificultad trae al medio ambiente [32,74]. Los enfoques innovadores también incluyen el uso de sistemas de comunicación y equipos de medición en tiempo real para cambiar la demanda de electricidad

en las distintas ciudades a horas del día más baratas y menos intensivas en emisiones, evitando la simultaneidad de carga por parte de los clientes en horas pico y generando incentivos en horas de bajo consumo global, así se premiarán valores económicos en las facturas de electricidad para los consumidores y ayudando a equilibrar el sistema eléctrico, al tiempo que se apoya a reducir las emisiones de CO₂, ver Figura 2 [54].

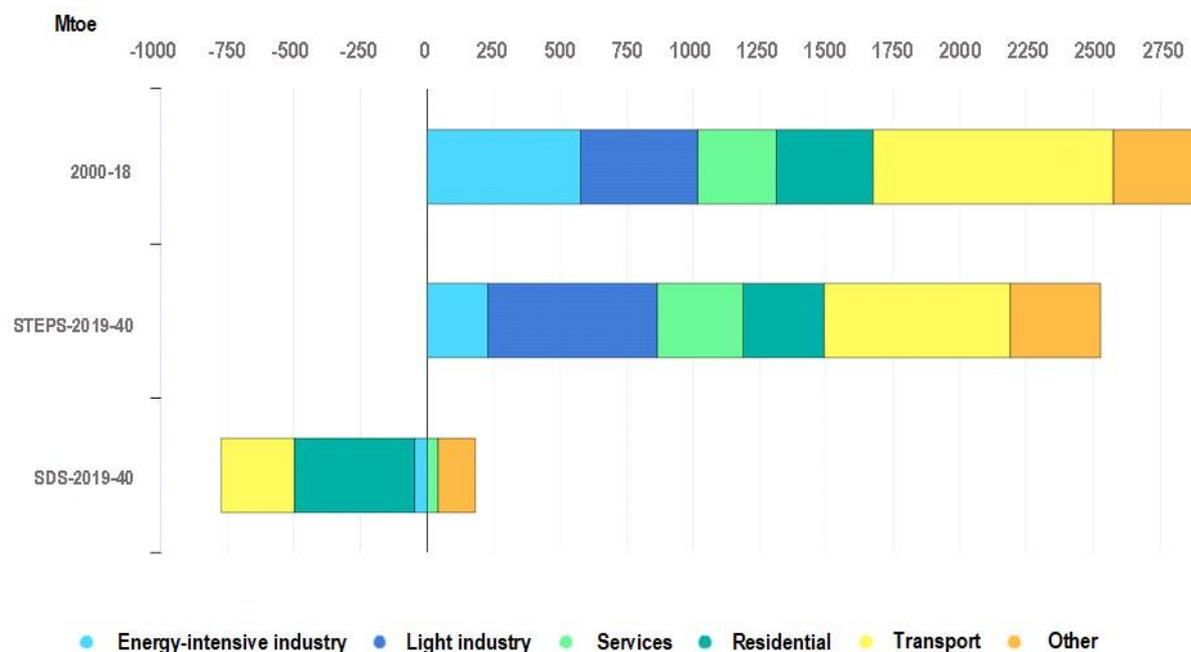


Figura 2 Cambios en el consume de energía por sector 200-18 y por escenario al 2040 [2].

Zani Alessandro et al. [75] y Goldthau, Andreas [76] trazan los escenarios al 2040 de producción de energía renovable para las distintas zonas de Europa, por otra parte, Cronshaw Ian [77] proyecta un escenario de generación de energía al 2040 para China comparando con otros países como Qatar, Canada, Russia, United States. A nivel de Sudamérica, Cabanillas, Tejada, and Adán Almocar mediante [78] realizaron un análisis prospectivo de la demanda energética del Perú y sus fuentes de energía que pueden abastecer al año 2040, mientras tanto Buzarquis Enrique et al. [79] realiza una evaluación energética y proyecta nuevas fuentes de energía verde al año 2040.

En el Escenario de políticas declaradas, la cantidad de energías renovables, excluyendo a la tradicional biomasa, en el uso final de energía aumenta de 990 Mtep actuales a casi 2 260 Mtep en 2040, según expresa [2]. En el contexto mundial, al 2040 incrementa un calor global de un 60% producto del incremento de producción de energías renovables y alcanza casi un 940 Mtep gracias al crecimiento sustancial en el uso moderno de bioenergía, electricidad renovable y también de energía solar térmica. Mientras tanto, la contribución de las energías

renovables al sector del transporte se triplica a alrededor de 300 Mtep, tres cuartos de los cuales provienen de biocombustibles.

Con respecto al Escenario de Desarrollo Sostenible, las políticas adicionales y favorables para incentivar la inversión en electricidad renovable por los distintos países a nivel mundial, impulsan el crecimiento sistemático de las RE a dos tercios de la producción de electricidad y el 37% del consumo de energía a nivel de cliente final. La producción de energía eólica al 2040 se considera en 8300TWh y de la solar PV en 7200 TWh, superando de esta manera a la energía hidroeléctrica que llegaría a 6950 TWh, mientras que el calor proveniente de las energías renovables aumentaría al 30% del total o 1 200 Mtep. En el sector del transporte, se proyecta que el consumo de energía de fuentes renovables aumentará a 600 Mtep, con los biocombustibles representando alrededor del 60% y la electricidad de fuentes renovables consumidas por vehículos eléctricos y el ferrocarril representarán el resto [80]. A continuación, en la Figura 3 se presentan los dos escenarios mundiales a 2040 correspondientes a Políticas declaradas vs Desarrollo sustentable.

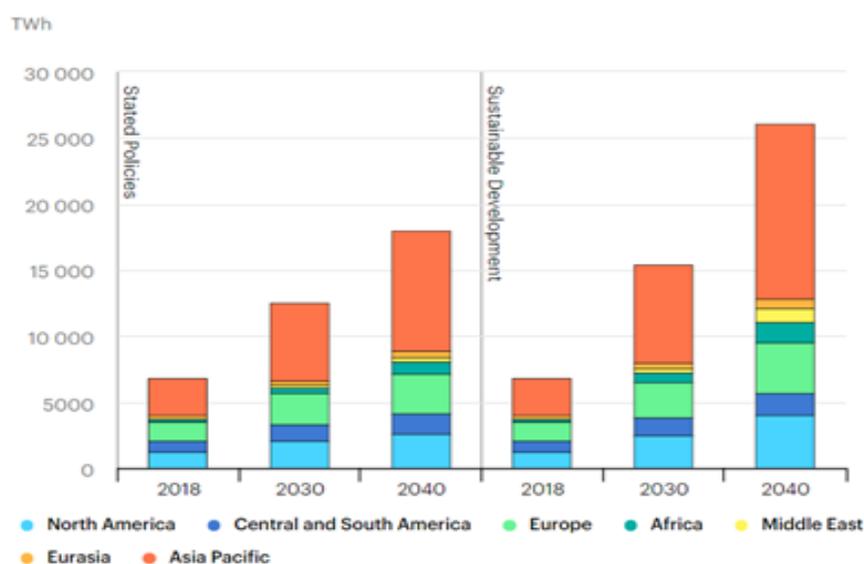


Figura 3. Generación de energía renovable por sector en el escenario 2018-2040.

Las referencias [68,81–84] en sus distintos estudios y proyecciones nos dejan claro que los países europeos, asiáticos y en Latinoamérica están trabajando arduamente y poniendo especial interés en las energías renovables, de esto no queda duda que la tendencia es migrar de las energías provenientes de combustibles fósiles a las renovables. Existen claros avances y penetración de tecnologías energéticas limpias a precios cada vez más accesibles. Con estas motivaciones están minimizando los riesgos de su sistema energético dependiente del petróleo y a tiempo oportuno realizan sus planes de expansión. En este sentido el

Ecuador, país que, si bien está trabajando arduamente en el cambio de su matriz energética e incrementando la producción proveniente de fuentes de energía renovables, tendrá que reforzar sus políticas a mediano y largo plazo como si lo hacen los países europeos y países vecinos sudamericanos. El Plan Nacional Toda una Vida estuvo diseñado para cubrir los años 2017-2021 pero no dieron salida a planes de desarrollo sostenidos a largo plazo, por esta razón fue también motivante en realizar esta tesis que permita ver con mayor claridad a donde puede ir el Ecuador en materia energética en función de las nuevas políticas y de desarrollo sostenible con énfasis en la Ciudad de Cuenca que corresponde a una área geográfica importante de generación energética especialmente a nivel del centro y sur del país.

Dentro del contexto nacional, este escenario considera la aprobación realizada por CELELEC (2013c) y MEER (2017a), quienes desarrollaron el “Plan Maestro de Electrificación 2016–2025”. Este estudio contempla que las nuevas plantas de generación de energía comenzaron a operar en 2019, de las cuales cinco son hidroeléctricas y dos son plantas de energía NGCC. En 2020, se consideraron nuevas plantas de generación de energía para realizar operaciones de las cuales ocho son hidroeléctricas. En 2021, dos centrales eléctricas NGCC de 250 y 125 MW y algunos TPP están programados para comenzar a operar con 150 MW en la provincia de Guayas. En 2022, se abrirán dos centrales hidroeléctricas de 915 MW y otros proyectos de generación de energía renovable no convencional de 200 MW de potencia. Además, el poder de los TPP se mantiene constante entre 2017 y 2040, y las plantas de generación de energía actualmente en operación que finalizan su ciclo operativo son reemplazadas por plantas de generación eléctrica del mismo tipo. Se considera que las PPP superarán las deficiencias de generación cuando las centrales hidroeléctricas, otras energías renovables y NGCC no puedan iniciar operaciones atribuidas a ninguna circunstancia. Además, los TPP actuales con tecnologías obsoletas que consumen combustibles de petróleo son reemplazados por plantas de energía NGCC para cubrir la nueva demanda de electricidad. Finalmente, el proyecto hidroeléctrico Santiago de 3600M está incluido en 2020 [85,86], que actualmente se encuentra en la etapa de estudios finales para la construcción.

El objetivo de este trabajo es modelar un Sistema de energía de carbón cero de una manera técnicamente factible, el uso de medidas realistas y penetraciones de tecnologías específicas, que no exceda de sus potencialidades técnicas expuestas en los trabajos previos por este autor en [23]. Por otra parte, el Sistema necesita ser robusto y no depender de una sola tecnología o fuente de generación como hasta ahora ha ocurrido con las hidroeléctricas en el Ecuador; más bien debería haber una mezcla de tecnologías que si una deja de actuar las otras mantengan el equilibrio, por su puesto con sus sistemas de almacenamiento. Por último, el costo socioeconómico total debe ser el más bajo posible ya que dentro de la planificación

se trata de dar soluciones efectivas, pero no incomodando masivamente a los hogares desde el punto de vista monetario, con ello sea técnicamente posible y realista de lograr.

1.1.1 Situación en América del Sur

América del Sur está compuesta por 12 países y Brasil es el más grande en extensión [69]. Desde la ALALC (Asociación Latinoamericana de Libre Comercio, creada en 1962) [87] hasta la CELAC (Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños, creada en 2011) [88], son muchas las iniciativas que se están tomando en la región para actuar de manera conjunta. Estos esfuerzos comenzaron a principios de la década de 1960 inspirados en gran medida por la Comunidad Económica Europea (CEE) [11], que desde entonces ha seguido evolucionando hasta convertirse en la actual Unión Europea (UE) [9]. Mientras tanto, en América Latina, las múltiples iniciativas regionales han hecho contribuciones significativas a sus países [69,83], pero aún están lejos de dar resultados debido a las crisis internas de los países en comparación con la UE [11].

América del Sur tiene una riqueza extraordinaria, problemas propios e importancia económica en sus reservas ecológicas y afluentes de agua dulce, su fauna y vastos bosques que son los pulmones del mundo, concentrados principalmente en la Amazonía y el sur de Chile [89]. Sus fuentes de generación de energía en muy buena parte se basan principalmente en la producción hidroeléctrica al construir embalses de sus ríos prominentes [90]. Históricamente, la mayoría de los países sudamericanos han dependido de la producción de petróleo para satisfacer diversas necesidades internas y dinamizar sus economías [61], sin embargo, poco a poco los países se están reorganizando, comenzando a ajustar sus leyes para cambiar sus matrices energéticas a un modelo diferente consistente en energías renovables que contribuyan a la conservación de sus ecosistemas [91] y en 2050, sustituir el suministro de energía térmica por energías renovables respetuosas con el medio ambiente [55]. América del Sur siempre ha estado interesada en iniciativas de conservación porque tiene una cantidad increíble de ecosistemas y muy sensibles a la acción humana [92]. Además, los afluentes de agua dulce están siendo intervenidos por empresas que tienen fines extractivistas que históricamente no se habían dado, sobre todo por el derivado del petróleo como el plástico que afecta a especies marinas, bosques protectores, flora silvestre y fauna superficial. terrestre [93]. Diversas investigaciones muestran un incremento en los niveles de contaminación en agua dulce donde habitan diversas especies [94], afectando al menos al 20% de los peces a nivel mundial y al 72% de las especies de mejillón en Norteamérica en peligro de extinción, vulnerable o en extinción según los criterios de la Unión Mundial para la

Naturaleza [95]. Esta vertiente de destrucción ha influido notablemente en América del Sur, producto de vivir en un mundo globalizado, generando problemas tanto desde el exterior como desde las políticas internas [33].

La Sudamérica Megadiversa llegó a la cumbre COP25 de Madrid con una serie de propuestas avanzadas para frenar la crisis climática, que está afectando gravemente a la región en forma de desastres naturales y amenazando sectores clave de la economía como la agricultura [28,96], después de la cumbre hubo un sabor agridulce ya que no contó con el apoyo incondicional de otros países. En las publicaciones presentadas por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) [72-75], se evidencia que la mayoría de los países están comprometidos en la lucha contra el cambio climático y, sobre todo, están comenzando a actuar, conscientes que la región es altamente vulnerable a los impactos negativos causados por este fenómeno. La CEPAL brinda las líneas estratégicas para impulsar de manera eficiente la dinámica de las economías que corresponden a América Latina y el Caribe, con base en la igualdad de oportunidades y la sostenibilidad ambiental en el contexto de la Agenda 2030 [97]. Por otro lado, este organismo ha creado diversos observatorios para analizar la situación socioeconómica de la región, incluso hace un llamado a aprovechar la experiencia de la pandemia del COVID-19 para construir un nuevo modelo de desarrollo y fortalecer la integración regional para enfrentar las crisis, sin marcadas diferencias e inequidades para avanzar con la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible [2]. La Secretaría Ejecutiva de la CEPAL considera necesario un “New Green Deal” con Europa para un mundo más democrático, menos desigual y más sostenible.

Varios países de esta región han declarado su intención de hacer inversiones más ambiciosas con el reto de reducir el calentamiento global a 1,5°C. Corresponde a la comunidad internacional hacer un mayor esfuerzo conjunto y concertado para que avancemos en esa dirección, explicó el jefe de la división de Cambio Climático del Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Se planeó que para fines de 2020 se lograrían mejores resultados y la “llamada COP de la ambición” regresará con mejores resultados y jugará un papel clave con hechos para sentar las bases con planes nacionales alineados con el propósito de reducir las emisiones y aumentar la resiliencia a las fluctuaciones climáticas [34].

Los esfuerzos en América del Sur han aumentado junto con el riesgo para la región, cada vez más expuesta al aumento de las temperaturas, lo que ha contribuido a retrocesos dramáticos como la destrucción de los glaciares andinos [82], a eventos extremos como inundaciones y sequías y deforestación, vinculado a los incendios que ocurren en la Amazonía [98]. En otros lugares, la caída de las precipitaciones ha producido eventos de estrés hídrico, y sus efectos se pueden notar cuando han azotado sequías severas o duras condiciones climáticas

vinculados al modelo económico de fuerte extractivismo. Un mayor impacto del cambio climático en América del Sur está en el agua, con aumento de las precipitaciones en algunas naciones y sequía en otras, además del aumento del nivel del mar. Estas condiciones adversas afectan a naciones dependientes de la ganadería, la pesca, el turismo y especialmente la agricultura.

1.1.2 Expectativa energética de América del Sur.

En 1980 se inició en Sudamérica la transición del sistema eléctrico hacia mercados competitivos [99]. Chile comenzó a liberalizar su sistema energético en 1986 [89], siendo el primer país a nivel mundial en hacerlo, progresivamente otros países de América del Sur se sumaron en los años 90, entre ellos Argentina, Colombia y Brasil [69,100]. La desregulación influyó positivamente en la región, permitió la integración vertical del sistema eléctrico (Generación, transmisión y distribución) y, sobre todo, permitió que la inversión privada estuviera presente estableciendo mercados mayoristas nacionales y la interconexión entre países vecinos, permitiendo el establecimiento de un referente marco de las políticas públicas entre la oferta y la demanda [94]. América del Sur está experimentando una creciente demanda de electricidad, especialmente por el progresivo crecimiento de la población, así como el crecimiento económico [5,101]. Esta región ha basado su matriz energética en la hidroelectricidad con un 76%, propiamente por tener importantes fuentes de agua dulce en todos los países y ante la necesidad de energía, así como la región por tener muy buenas reservas de petróleo está presente gran parte de la producción de energía térmica con El 20% propio del uso de combustibles derivados del petróleo, mientras que el 4% restante en energías limpias, especialmente solar, eólica y biomasa [102].

Los sectores energéticos de los países de la región ya se encuentran en desarrollo, no ha sido fácil para los países avanzar hacia esta transición tan necesaria, que sus marcos legales se vean modificados. Actualmente el reto es una transición energética [100] que busque una mayor diversidad de fuentes de energía limpia en la matriz eléctrica general, como lo están haciendo la mayoría de los países a nivel mundial y Latinoamérica debe sintonizarse con estas corrientes que están tratando de proteger el planeta [38]; buscando cada vez más una mayor cuota de energías renovables no sólo con buenas intenciones sino también más realistas y de ejecución. La figura 4 muestra la diversificación de energía por fuente para la generación de electricidad a nivel regional.

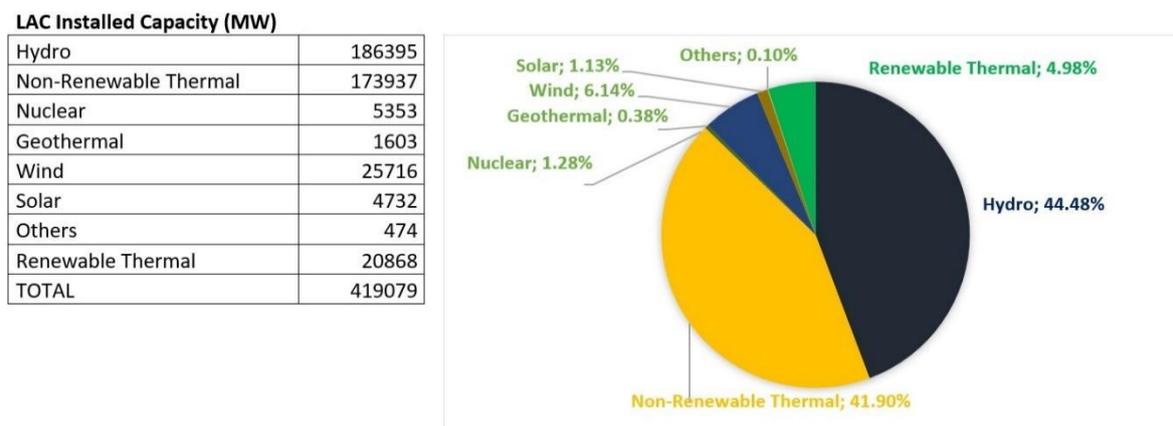


Figura 4. Capacidad Instalada en LAC [87].

Al cierre de 2018, como se puede observar en la Fig. 2, en Latinoamérica existe un total de 414.644 MW de capacidad instalada para la generación de electricidad. La fuente de generación de energía eléctrica más importante corresponde a la producción de las centrales hidroeléctricas, con un 44,5%, seguida de la generación por centrales térmicas no renovables (41,9%). La generación de electricidad por fuentes de energía renovables no convencionales (ERNC) como biomasa, eólica, geotérmica y solar (térmica renovable) aportará el 13% de la capacidad instalada total en la región para 2018. De hecho, América Latina tiene el mayor porcentaje de generación de energía hidroeléctrica con respecto a la generación total en el mundo [103]. Sin embargo, existe una tendencia a disminuir estos valores a partir de la última década del siglo XX, lo cual ha conllevado una mayor sensibilidad social hacia los impactos ambientales y socioeconómicos vinculados a esta tecnología [27], a partir de la transición que se está dando en toda la región transformando la matriz de generación en diversificada y resiliente [104] frente al impacto de periodos de sequía como consecuencia de fenómenos relacionados con el cambio climático, así como reducir los impactos económicos derivados de la variabilidad del precio de los combustibles fósiles que sobre todo afectaron en el 2020 a toda América del Sur dependiente del petróleo [90]. En este sentido, para evitar seguir viviendo estas situaciones críticas y a expensas de que suba o baje el precio del petróleo, es necesaria esta transición, que está siendo apalancada principalmente en el gas natural y las energías renovables no convencionales como señala IRENA en la referencia [105].

Se destaca el desarrollo que está registrando la tecnología eólica en la región, incluyendo Argentina [106], Brasil [107], Ecuador [30], Chile [108], entre otros. La inserción en la matriz energética regional se ubica principalmente en esta última década, en la que alrededor del 25% del total de energía eléctrica nueva instalada en la región proviene de esta tecnología, que ha pasado de ser irrelevante en la matriz eléctrica en 2010 a representar el 6% de la potencia eléctrica total instalada. A la fuente eólica se le atribuye más del 80% de toda la capacidad instalada de ERNC, en ese período en la región [109]. El desarrollo de las ERNC

en la región, y en especial de la tecnología eólica, se debe sin duda a los primeros resultados de la adopción de políticas públicas por parte de los estados de América del Sur, específicamente dirigido a reforzar la seguridad y continuidad del suministro de energía eléctrica mediante la diversificación de las fuentes de energía. Es posible que los Acuerdos de París sobre la reducción de emisiones de gases contaminantes frente al cambio climático hayan impulsado la implementación de estos sistemas, también cabe señalar que sus gobiernos fueron piezas clave para seguir avanzando hacia la descarbonización en los estados acompañados con las políticas ambientales adoptados por los gobiernos adheridos a tales compromisos.

El BID en referencia [110] que ubica a la región como una de las zonas con mayor demanda creciente de energía eléctrica, se encuentra por encima del promedio mundial. En la Figura 5 se identifican los países de América del Sur a los que corresponden el Cono Sur y la Región Andina los cuales tienen una demanda creciente y por lo tanto es fundamental tomar las acciones correspondientes a tiempo para abastecer esta demanda.

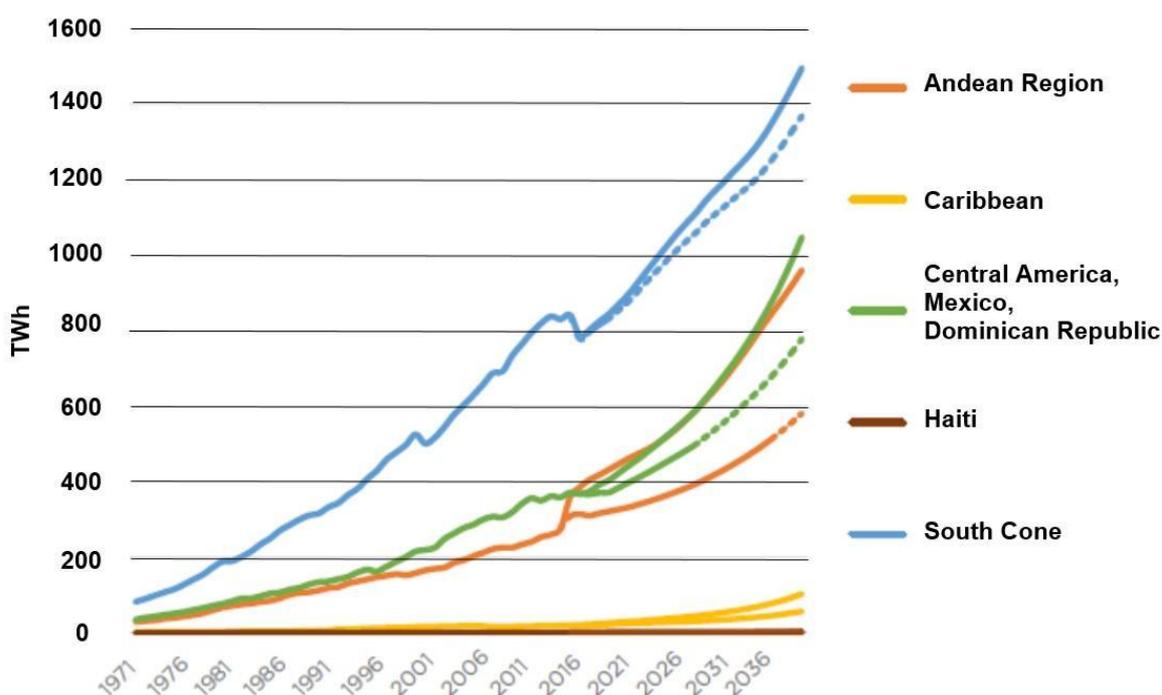


Figura 5. Demanda eléctrica por subregión al 2040. Demanda PIB ponderada: Línea continua. Demanda de tendencia histórica: Línea punteada [110].

Existen ciertas tecnologías, como se muestra en la Figura 6, que se consideran directamente involucradas en la matriz energética a nivel global. Para representar el mix energético se utilizó MATLAB 2020a Toolbox para EnergyPLAN [111]. La referencia [112] señala que lograr los objetivos planteados en la cumbre de París requerirá un aumento significativo de las inversiones en una variedad de sectores y tecnologías y que, entre todas las opciones de

tecnología de bajas emisiones de carbono, la energía eólica junto con la energía solar, abriría el camino para la transformación del sector eléctrico mundial. Se espera que la energía eólica terrestre y marina de las vertientes del Atlántico y el Pacífico genere aproximadamente más de un tercio (35 %) de la demanda eléctrica total futura [88], lo que implica que será la primera fuente de generación en 2050.

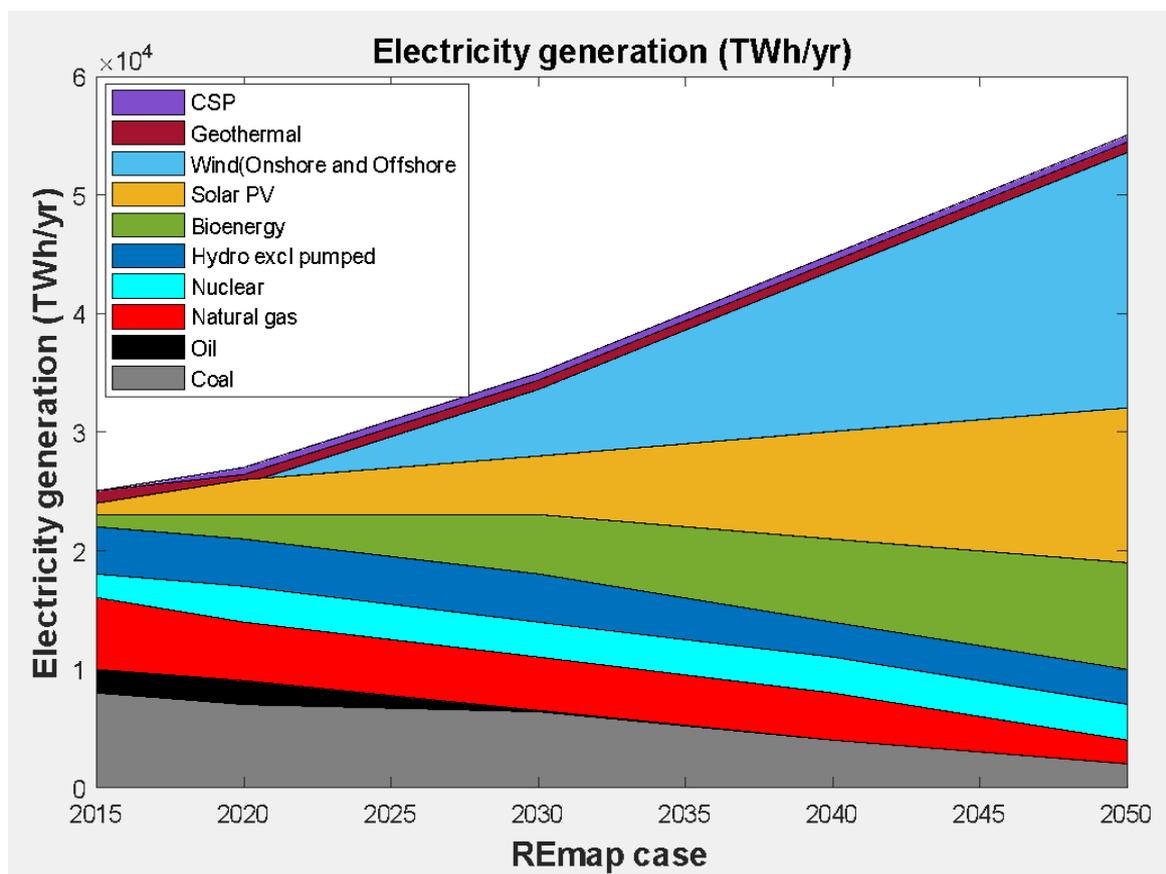


Figura 6. Proyección de Generación Eléctrica a Nivel Mundial en 2050.

1.1.3 Incidencia de las Energías Renovables en América del Sur.

Otras fuentes de energía renovable están en aumento, pero la hidroeléctrica todavía está en la cima. La energía hidroeléctrica se mantiene a la cabeza como la fuente más importante entre las fuentes de generación de energía renovable. Aun así, su importancia está disminuyendo lentamente y las fuentes de energía, especialmente la solar y la eólica, están ganando fuerza. Según Energy Monitor [113], se considera que en el año 2000 esta fuente constituía el 95% del mix energético renovable sudamericano, pero se redujo en alrededor de un 80% en 2015 con 172 GW del total de 212 GW de ER. Según la reciente publicación de IRENA [105], la disminución de la energía hidroeléctrica no ha sido en una caída drástica,

pero se observa que los países sudamericanos están diversificando su mix de generación, especialmente en energía eólica y solar, como se muestra en la Figura 7. El resultado de esta modificación en la matriz energética se debe al temor a las sequías, a los impactos ambientales como la deforestación, al surgimiento de políticas nacionales de protección ambiental que se han intensificado en los últimos años. Al mismo tiempo, se visualizan ventajas socioeconómicas ligadas directamente al consumidor, ya que contar con energías renovables en sus territorios está provocando un aumento del apetito por la energía solar, eólica y biomasa.

El costo de la generación de energía hidroeléctrica ha disminuido de \$ 65/MWh en 2010 a ~ \$ 50/MWh en 2016 hasta 2019 debido a las fuertes inversiones y al avance tecnológico [90, 100, 102]. Esto significa que continúa compitiendo con el costo de los combustibles fósiles que van desde \$ 40/MWh a \$ 150/MWh, pero con muy poca brecha para mayores reducciones de costos debido a su nivel de madurez establecido en el mercado [63].

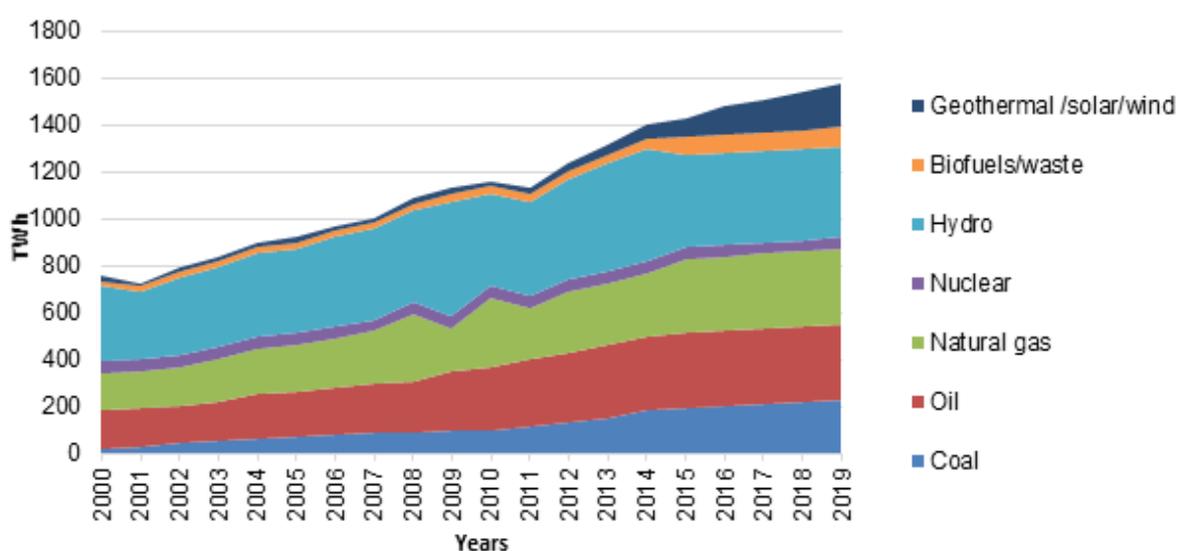


Figura 7. Mezcla de generación de energía de América Latina. Presentado por [91] y adaptado según datos de [114].

1.1.4 Sudamérica y predisposición por las energías renovables.

América del Sur se compara favorablemente para albergar energías renovables en comparación con el mundo entero. Tal como fue presentado por [63] y ratificado por [97] y [90], la oferta energética en Sudamérica ronda el 25%. A nivel mundial, la oferta energética

que proviene de energías renovables es del 13%. Implica que esta cifra global prácticamente se está duplicando en América del Sur. Si bien la región se compara favorablemente con el resto del mundo, también se debe reconocer que los combustibles fósiles continúan teniendo una gran presencia en la matriz energética hasta la fecha. La Figura 8 presenta todos los países de América del Sur en el orden de su capacidad instalada de energía renovable según las estadísticas proporcionadas por Energy Monitor [113] y adaptadas según los datos presentados a 2019 por IRENA [105] en los que identifica que Brasil es el país con mayor participación en Sudamérica.

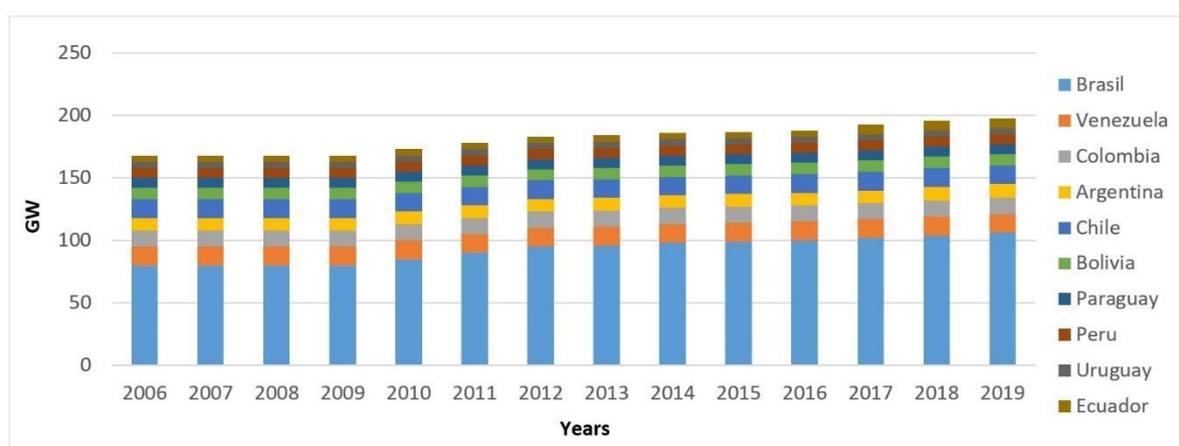


Figura 8. Capacidad de energías renovables en América del Sur. Presentado por [113] y adaptado según datos de [105].

Para la transmisión de electricidad, generalmente la mayoría de las líneas de transmisión están construidas para tecnología HVAC de corriente alterna de alto voltaje. Sin embargo, para lograr una mayor eficiencia, la tecnología actual generalmente se usa para HVDC continuo de alto voltaje de larga distancia. Es posible alternar redes de corriente alterna y corriente continua dentro de las subregiones existentes. Aun así, considerando que es una opción tecnológicamente viable frente al modelo actual, los costes de la red de distribución no son accesibles en todos los países, lo que puede llevar a una mala estimación de los costes de la red de distribución. Ante esta coyuntura en la que las energías renovables van a tener protagonismo próximamente [13], el escenario para el 2030 y reconfigura el sistema de distribución en Sudamérica como se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Líneas de transmisión en Sudamérica configuradas por distancia [115].

En esta sección se enfatiza que la región ha sido históricamente rica en hidroelectricidad. Sin embargo, es muy claro que hay un deterioro de las fuentes hídricas en la región y las proyecciones a nivel mundial apuntan a crear una combinación de energías renovables [103] y la región ha entendido que esa es la línea de acción [116] y [88] propone un escenario integrado en Sudamérica que interactúa con Centroamérica. En la Figura 10b podemos identificar que es necesario un sistema de almacenamiento regional de 124GW, antes de una capacidad eléctrica regional de 1175GW que se muestra en la Figura 10a.

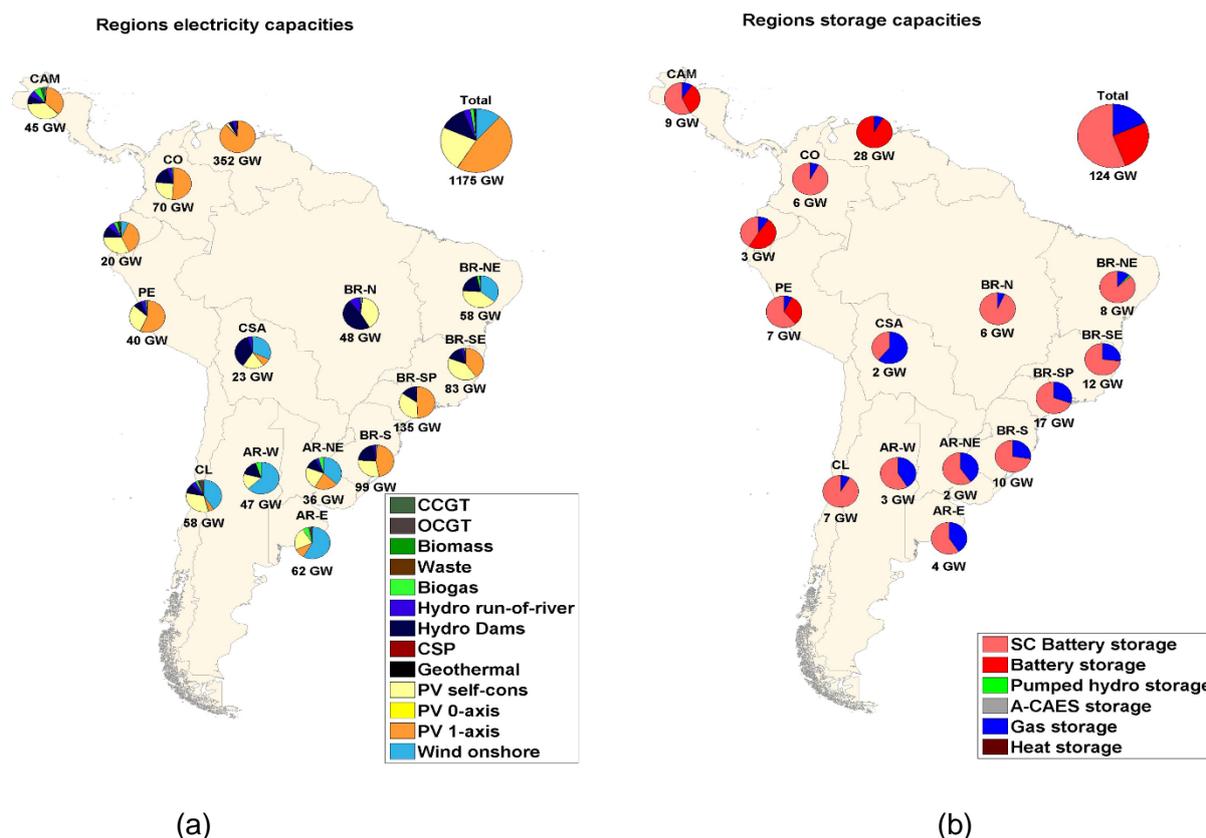


Figura 10. Capacidad instalada de RE. (a) Capacidad instalada en América del Sur [115] (b) Capacidad de almacenamiento de energía en América del Sur al 2030 en un escenario integrado.

Debido a las diferentes motivaciones de los países alrededor del mundo y la ola de transformaciones inevitables que nos están impulsando a ingresar al mundo de las energías renovables, no basta con esfuerzos aislados y bien intensificados. S. Arango-Aramburo, en la referencia [90] muestra que la capacidad térmica e hidráulica ha influido notablemente en todos los países de América del Sur en los últimos tiempos. La literatura anterior nos lleva a reconocer que las energías renovables son el futuro de la región, por lo que es importante reconocer que en todos los países de Sudamérica existen planes de futuro y en otros, incluso un ordenamiento jurídico que obliga a transitar por una ruta amplia. para que las Energías Renovables sean las protagonistas en los próximos años, se identifica en la Tabla 1.

Tabla 1. Planes, Políticas o Metas para incrementar los niveles de penetración de las ER en los diferentes países de Sudamérica.

País	Planes, Políticas u Objetivos para Renovables	Fuente
Brasil	Se estima una producción primaria de electricidad del 42,5% para el año 2023. Ingresos adicionales para el año 2030: Eólica 3,3 GW e hidroeléctrica 34,5 GW.	[117]
	Se considera el 86% del suministro a través de ER para el año 2023.	[118]
	Se incluirán 20 GW de energía eólica en el sistema nacional.	
Venezuela	Plan de la Patria 2019-2025 de Venezuela.	[119]
	5.1.5. Promover la generación de energía limpia, incrementando su soberanía.	
	Participación en la matriz energética nacional y promoción tecnológica.	
Colombia	Aumento del 6,5% de la capacidad eléctrica al cierre del año 2020 de forma distribuida, sin construir grandes centrales hidroeléctricas. Ley 1715 de 2014.	[120]
	Inclusión de energías renovables en un porcentaje del 15% en la matriz energética al año 2029.	[121]
Argentina	Se establece una meta de 10000 MW de ER para el año 2025.	[122]
	Se aprueba por ley 27191 aumentar el consumo total en un 20% para el año 2025.	[106]
Chile	La meta de lograr un aumento del 20% en la capacidad eléctrica para el año 2025.	[89]
	Se espera que al menos el 60% del suministro de energía sea a través de hidroelectricidad, lo que implica que sea superior a 20MW.	[123]
	Como meta para el 2025 tener el 45% de la capacidad instalada.	[124]
Bolivia	Bolivia apunta a alcanzar 183 MW de generación renovable para el año 2025.	[125]
	Meta concebida de aumentar 10% de las ER en la mezcla en los próximos 5 años a 120 MW en energía geotérmica.	
Paraguay	Política Energética 2016 – 2040 que tiene como meta que el 10% de la matriz de generación sea con energías renovables.	[126]
Perú	Se considera como meta al cierre de 2021 un 5% incremental de la energía total (excluyendo hidroeléctrica).	[127]
	Incrementar más del 60% de la generación total para el año 2025.	
Uruguay	Dentro de las políticas para el año 2030 se contempla la promoción de las fuentes de ER.	[128]
	Para 2030 invertirá otros 500 MW de energía solar fotovoltaica, 280 MW de eólica y 10 MW de biogás.	[129]
Ecuador	277 MW de fuentes de energía eléctrica que se incorporan a la actual mix excluyendo hidroelectricidad con meta al año 2022.	[130]

Kissel J. en [69] destaca que Brasil es un ejemplo en Sudamérica en el que desde 2009 ya ha duplicado su capacidad cerca de 100GW en comparación con Argentina, Colombia y Chile junto con 51GW. Dentro de la Región, Brasil es considerado un país pionero en buenas prácticas en el uso de energías renovables, acompañado por el peso político de su desarrollo tecnológico en el mercado eléctrico. Respecto a Venezuela, se puede identificar por [131] que sí considera dentro de su Plan de la Patria 2019-2025 posibilidades de aprovechar las energías renovables. Lamentablemente, la crisis interna que vive el país no ha permitido un mayor desarrollo en estas áreas, y no existen planes a corto y mediano plazo. Colombia tiene alrededor de 10MW de capacidad instalada. Existe la Ley 1715 emitida en 2014 que permite un aumento del 15% de la electricidad exclusivamente con energías renovables para el año 2029. Según [121] es posible incluirla en el mix de Colombia, 474MW de eólica, 143MW de solar, 275MW de geotermia y 314MW de biomasa. Argentina, incrementando su generación de energía a base de energías renovables en los últimos cinco años, en 2017 alcanzó 257MW [132], así mismo [103] declara que la gama de energías renovables conformada por la eólica, la solar, la biomasa, el biogás y la hidroeléctrica la planta solo aumentó en 2019 alrededor de 50MW, alcanzando así un total de 2472MW. Según el reporte de las generadoras chilenas [123] a noviembre de 2019, este país tiene una capacidad instalada de 25248 MW. El 48,3% de la capacidad instalada corresponde a fuentes renovables (27,0% hidráulica; 10,8% solar; 8,6% eólica; 1,8% biomasa;

Bolivia ha obtenido muy buenos resultados en los últimos años en la ejecución de proyectos de energías renovables, especialmente en energía eólica. [133] da a conocer que para el año 2019 el parque eólico Qollpana en sus dos fases alcanza una capacidad instalada total de 27 MW inyectados al sistema interconectado nacional SIN; además de los proyectos eólicos Warnes, Cotoca y El Dorado en Santa Cruz, y La Ventolera en Tarija; que contribuyan a la mitigación del calentamiento global y la generación de energía eléctrica limpia y amigable con el medio ambiente. Según el Banco Interamericano de Desarrollo [134], estima que Bolivia es el país que tendrá el mayor crecimiento de la demanda al 2030 y que sus proyectos van por buen camino. Tres grandes proyectos están en marcha, el parque eólico San Julián estará ubicado en el municipio de Cotoca y contará con 11 aerogeneradores; el parque eólico El Dorado se construirá en el municipio de Cabezas con la ubicación de 15 aerogeneradores; y por último, el parque eólico Warnes en el municipio del mismo nombre, y se ubicarán 4 aerogeneradores, destaca [135]. Con respecto a Paraguay, tiene una capacidad instalada para la generación de energía eléctrica de 8825 MW [79]. Esto cubre la demanda de 6,9 millones de habitantes. La mayor capacidad corresponde a Itaipú, hidroeléctrica compartida con Brasil con 7000MW, seguida de Yacyretá, compartida con Argentina con 1600MW. En tercer lugar, se encuentra Acaray, paraguaya en su totalidad con 200MW. Solo 25MW

corresponden a generación térmica, lo que sitúa al estado paraguayo como el que más energía renovable dispone; sin embargo, no existen políticas para diversificar sus fuentes por contar con fuentes hidroeléctricas suficientes y bien consolidadas. En Perú las energías renovables no convencionales están siendo muy aprovechadas y realizando importantes labores como la solar, eólica y biomasa, las cuales generaron un total de 1990 GWh a septiembre de 2019 [127], lo que representa el 4,69% producido para la electricidad peruana. mercado, mientras que 22839 GWh fueron generados a partir de centrales hidroeléctricas. Se estima que Perú tiene un potencial hidroeléctrico de 69445 MW, un potencial eólico de 20493 MW, una radiación solar de entre 4,5 - 6,5kWh/m² y un potencial geotérmico de 3000 MW [125,136]. las energías renovables no convencionales están siendo muy aprovechadas y realizando importantes labores como la solar, eólica y biomasa, que generaron un total de 1990 GWh a septiembre de 2019 [99], lo que representa el 4,69% producido para el mercado eléctrico peruano, mientras que Se generaron 22839 GWh a partir de centrales hidroeléctricas. Se estima que Perú tiene un potencial hidroeléctrico de 69445 MW, un potencial eólico de 20493 MW, una radiación solar de entre 4,5 - 6,5kWh/m² y un potencial geotérmico de 3000 MW [82]. Las energías renovables no convencionales están siendo muy aprovechadas y realizando importantes labores como la solar, eólica y biomasa, que generaron un total de 1990 GWh a septiembre de 2019, lo que representa el 4,69% producido para el mercado eléctrico peruano, mientras que Se generaron 22839 GWh a partir de centrales hidroeléctricas. Se estima que Perú tiene un potencial hidroeléctrico de 69445 MW, un potencial eólico de 20493 MW, una radiación solar de entre 4,5 - 6,5kWh/m² y un potencial geotérmico de 3000 MW.

Uruguay está en el cuarto lugar en el mundo en generación de energía eólica y fotovoltaica [128]. Durante 2018, el 97% de la energía eléctrica producida en el país fue a base de fuentes renovables, si sumamos la energía hidráulica y la biomasa (de los pastos Montes del Plata y UPM). En 2019, la Agencia Internacional de Energía (IEA) [2] clasificó a Uruguay como el mayor productor de energía solar y eólica en América Latina y ocupó el cuarto lugar a nivel mundial. Ecuador figura como el quinto país que presenta garantías en el sistema de seguridad energética a nivel mundial según la referencia [62]. El Plan Maestro de Energía Eléctrica (PME) está alineado con el Plan Nacional de Desarrollo 2017 - 2021 - "Toda la Vida", elaborado por el Consejo Nacional de Planeación (CNP). La parte fundamental del PME es el Plan de Expansión de Generación (GEP). Hubo un gran impulso al sector eléctrico ecuatoriano en la década 2007-2017, como se comenta en la referencia [57]. Actualmente, los proyectos no paran. El CIER a través de [137] nos da el nivel de penetración de energías renovables por país al 2017 en el cual identificamos en la Figura 11, mientras que en la Figura 12 se puede apreciar el nivel de generación por fuente.

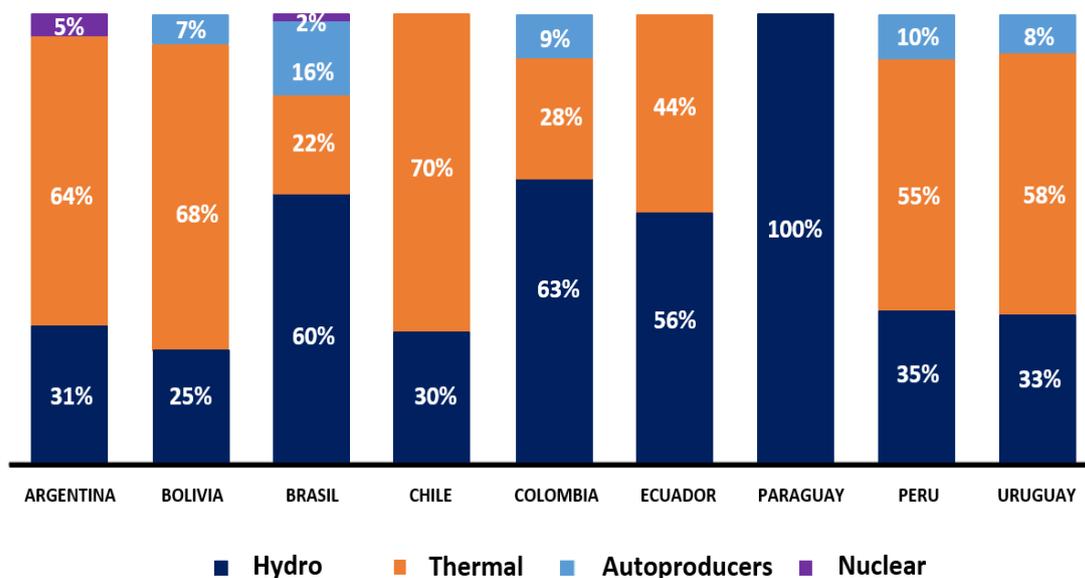


Figura 11. Potencia Eléctrica instalada en los países de América del Sur.

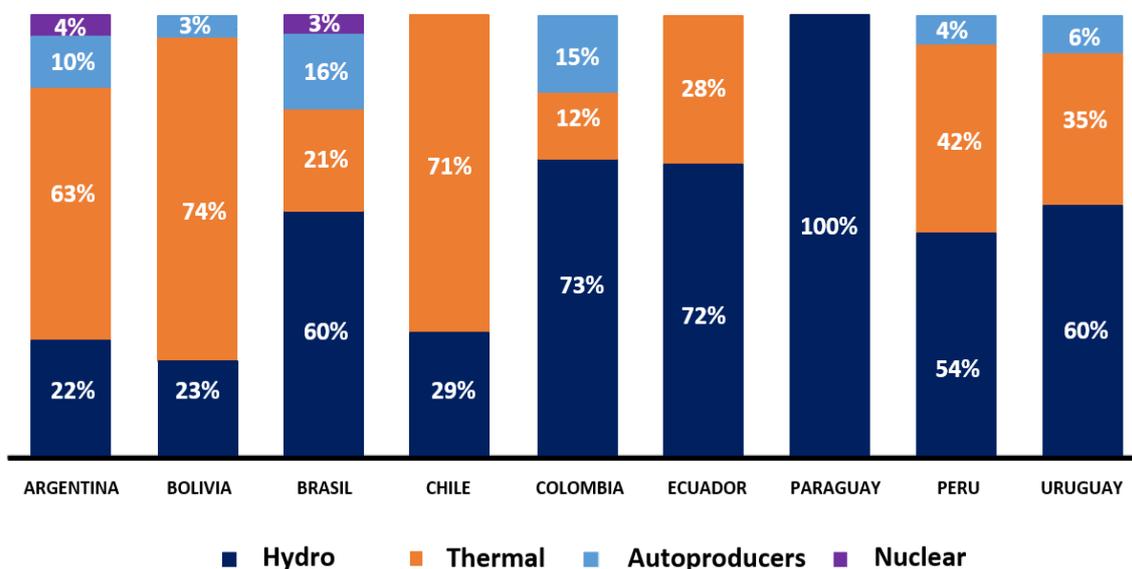


Figura 12. Generación de energía por fuente en los países de América del Sur.

En América del Sur podemos ver que tanto los países más grandes como los más pequeños están en una enorme autopista transitando el mundo de las energías renovables, cada uno con su problema interno, pero luchando contra el cambio climático, el bienestar de los ciudadanos y el desarrollo permanente en sus territorios. La Figura 13 muestra el índice de cobertura de energía eléctrica de los países de Sudamérica y Centroamérica. Se observa que los mayores niveles de cobertura se encuentran en los países de América del Sur.

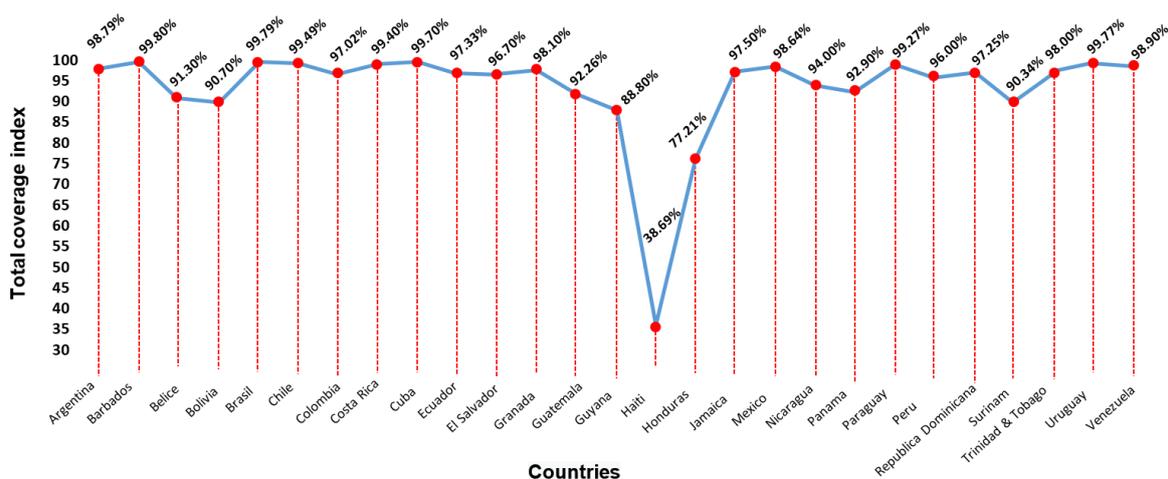


Figura 13. Índice de cobertura total para el acceso a la electricidad en Centroamérica y Sudamérica.

La Figura 14 realizada a partir de los datos mostrados en [137] presenta las estadísticas sobre la participación de los sectores consumidores finales en la energía facturada en 2017.

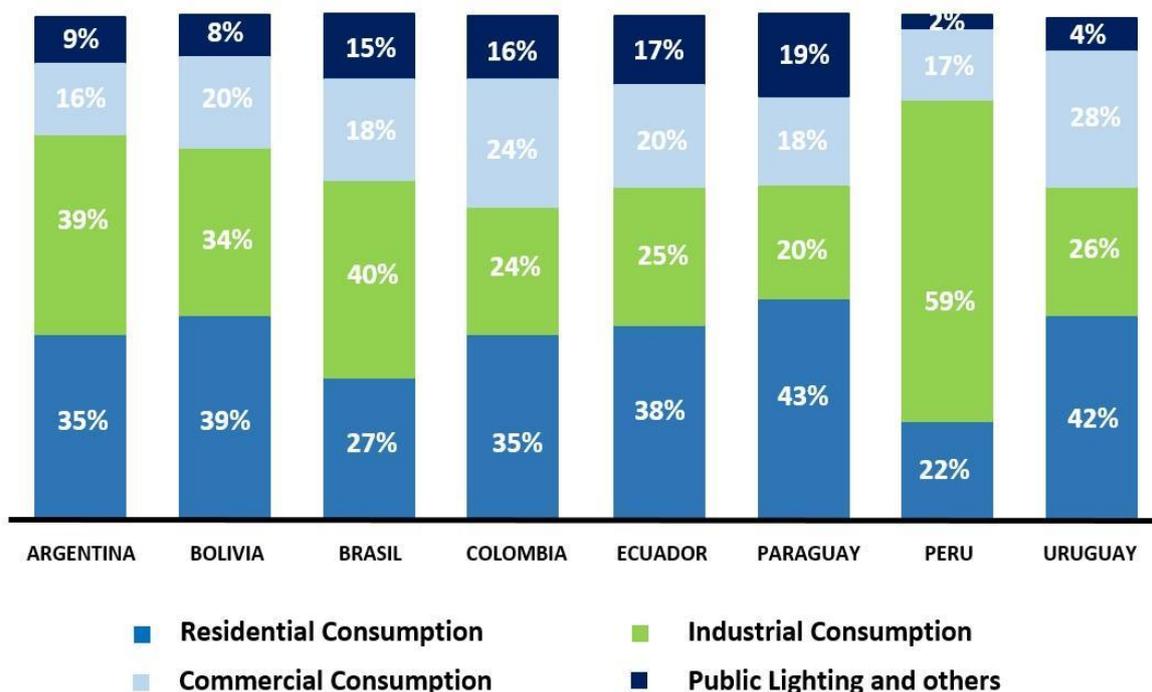


Figura 14. Estadísticas de participación de los sectores consumidores finales en diferentes países de América del Sur.

Los países grandes como Brasil tienen una presencia significativa a nivel mundial, se incluyen continuamente en las estadísticas mundiales. En este artículo vamos a prestar atención a

Ecuador, un país pequeño en términos de territorio pero que ha dado pasos de gigante en materia energética después de haber sufrido varios cambios en su modelo.

1.2 Contexto energético ecuatoriano.

Históricamente el Ecuador se ha definido por modificar su matriz energética, estos cambios han sido el resultado de mucho tiempo de haber sido profundamente dependientes de los precios del petróleo, que han sido la principal fuente de exportación y riqueza nacional, cuyos ingresos siempre han sido especiales. importancia para el Estado ecuatoriano. Por ejemplo, entre 2007 y 2014 el precio del barril de petróleo subió hasta \$83 [98], lo que permitió al gobierno construir obras de infraestructura, incluyendo generadores de energía con fuentes renovables como la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair. Estos son los más grandes del país con 1500MW, y que aún están en construcción como el Toachi Pilatón.

El petróleo también causó problemas al país, especialmente por la grave contaminación en la Amazonía ecuatoriana [138], donde se utilizaron severas y letales técnicas de extracción para la degradación ambiental y la salud de grupos étnicos no contactados por la sociedad [139], llegando a un punto legal batalla en tribunales internacionales entre el país ecuatoriano y los sobrevivientes de la empresa Chevron que se fusionó con la extractivista petrolera Texaco que operó en Ecuador entre 1964 y 1992 [140]. La mala experiencia vivida, los conflictos no resueltos y las consecuencias aún latentes de la contaminación llevaron a Ecuador a vivir una crisis ambiental producida por accidentes de transporte o por la explotación petrolera irresponsable [141]. En el Ecuador, los problemas ambientales surgieron ante la llegada de compañías petroleras a la Amazonía hace 40 años, en los años 90 la población sintió la desmedida contaminación desencadenando el juicio a Texaco [142]. En los años 90 se utilizó el sinónimo de exposición a una fuente de peligro, mientras tanto el concepto de vulnerabilidad social se define hoy como el conjunto de características que impiden a una comunidad adaptarse a los cambios de su entorno, tanto en el corto como en el largo plazo [143]. Como ya se explicó anteriormente, en el Parque Nacional Yasuní se rompen todos los récords de concentración de especies, esto obedece a una estadística mundial y que se destaca en la referencia [138] y se presenta a detalle en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparación de la riqueza de especies arbustivas y arbóreas en diferentes países.

Lugar	País	Especies pequeñas/ arbóreas hect.	Grandes especies arbóreas /ha.	Posición
Parque Nacional Yasuní	Ecuador	655	251	1
Parque Nacional Colinas Lambir	Malasia	618	247	2
Reserva Forestal Pasoh	Malasia	495	206	3
Refugio de Vida Silvestre Khao Chong	Tailandia	380		4
Provincia de Yunnan (Xishuangbanna)	Porcelana	292		5
Reserva natural de Bukit Timah	Singapur	276	113	6
Parque Nacional Korup	Camerún	236	87	7
Área silvestre de Palanan	Filipinas	197	100	8
Isla de Barro Colorado	Panamá	169	91	9
Reserva de Fauna Okapi (Ituri)	RD del Congo	161	57	10

Yasuní-ITT implica proteger una diversidad de especies en todo su ámbito, pero también es el espacio considerado para la sobrevivencia de sus habitantes, especialmente para actividades cinegéticas y tierras vírgenes donde se encuentran vestigios milenarios y plantas curativas naturales de los indígenas. El YNP es la vida y razón de ser de los pueblos Huaorani

y Quechua, allí se concentran sus formas de vida y hogar, pueblos indígenas en aislamiento voluntario a más de los Tagaeri y los Taromenane.

Los cuatro grupos no contactados señalados en el párrafo anterior conforman unas 9800 personas repartidas por todo el parque que viven directamente de la caza y recolección de frutos silvestres para aplacar el hambre. Solo los Huaorani se asentarán en un área con 612000 personas, espacio cedido por el Estado ecuatoriano en 1983; en cambio, los quechuas habitan en la zona noroeste del PNY; mientras tanto, las tribus Tagaeri y Taromenane más antiguas viven en las áreas central y sur completamente aisladas de otras civilizaciones por su propia voluntad.

La mano destructiva del hombre avanzó a niveles nunca antes vistos, sobre todo por la extracción del petróleo sin importar la vida de estos pueblos primitivos, por ello y por las diferentes razones que abordamos en este artículo, la transición energética a las ER es la opción más adecuada, sumado a la tala indiscriminada de plantas, por otro lado el turismo que busca contemplar estas civilizaciones no contactadas, además de la incursión de investigadores y grupos misioneros que buscan ganar adeptos han invadido estas zonas alterando la vida armónica de aquellas que históricamente han vivido a su propio estilo primitivo y han sido felices de esta manera. Sin embargo, Tagaeri y Taromenane no mantienen un contacto pacífico con el mundo exterior que invade sus territorios, no se espera que ataquen sin piedad a los no deseados.

La explotación petrolera sin duda es una amenaza permanente a la vitalidad cultural de estos grupos, también a su subsistencia y la posibilidad de permanecer libres de su organización [161, 162]. En la Figura 15 se puede identificar el parque Yasuní y el bloque ITT.

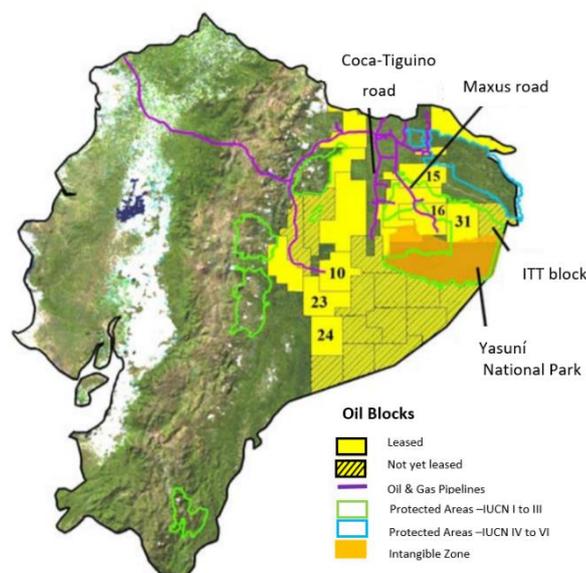


Figura 15. Áreas protegidas y concesión petrolera en la Amazonía del Ecuador.

Finalmente, esta iniciativa no logró obtener recursos suficientes para dejar el crudo en tierra, y tampoco se explotó el campo ITT. Todavía hay varios países que están apoyando la continuación de esta iniciativa por el bien de la humanidad [144]. La contaminación por derrames de petróleo y el agotamiento acelerado de sus reservas, adicionalmente, la escasez de energía eléctrica en ciertos periodos de estiaje, como los que ocurrieron de manera continua entre 1992 y 2007, llevaron a tener cortes o racionamientos de energía eléctrica, situación que cambió después de 2007 [145], en el que el gobierno nacional lanzó el llamado cambio de la Matriz Energética, en el que se planificaron una serie de proyectos de energías renovables a gran escala [30,32,47,130]. Actualmente se encuentra vigente el Plan Nacional de Desarrollo 2017 - 2021 - "Toda la Vida". Dentro del Plan, el Objetivo 5 define como una de sus metas aumentar la generación eléctrica a partir de fuentes de energía renovables del 68,8% al 90% en 2021 [146]. Como en toda Sudamérica, las centrales hidroeléctricas en el Ecuador forman parte fundamental como fuente de energía permanente, juegan un papel especial en la generación de energía, en parte para dejar de utilizar combustibles fósiles y, por otro lado, para su eficiencia y disponibilidad de generación inmediata. Actualmente es la principal fuente de generación de energía del país y la más empleada [57]. Según el Operador Nacional de Electricidad CENACE [62] presenta el registro histórico de producción de energía para el periodo 1999 - 2019 en la Figura 16, se observa la tendencia creciente acorde con el crecimiento de la demanda, observándose una tendencia decreciente en la generación de energía con recursos térmicos desde 2016. Esto representa un ahorro en el uso de combustibles fósiles, provocando efectos positivos en la balanza comercial del país y en la reducción de impactos ambientales. También se evidencia que desde el año 2012 se han

presentado valores significativos de generación catalogada como No Convencional, notándose además la disminución considerable en las importaciones de energía eléctrica a partir del año 2016.

Es evidente que el mercado ecuatoriano ha reestructurado su matriz energética, producto de acciones concretas que han requerido de innovación y destacamos en esta investigación cómo es: dejar de depender de la electricidad de los países vecinos, apostar por las energías renovables, y progresivamente limitar la energía presencia de plantas termoeléctricas.

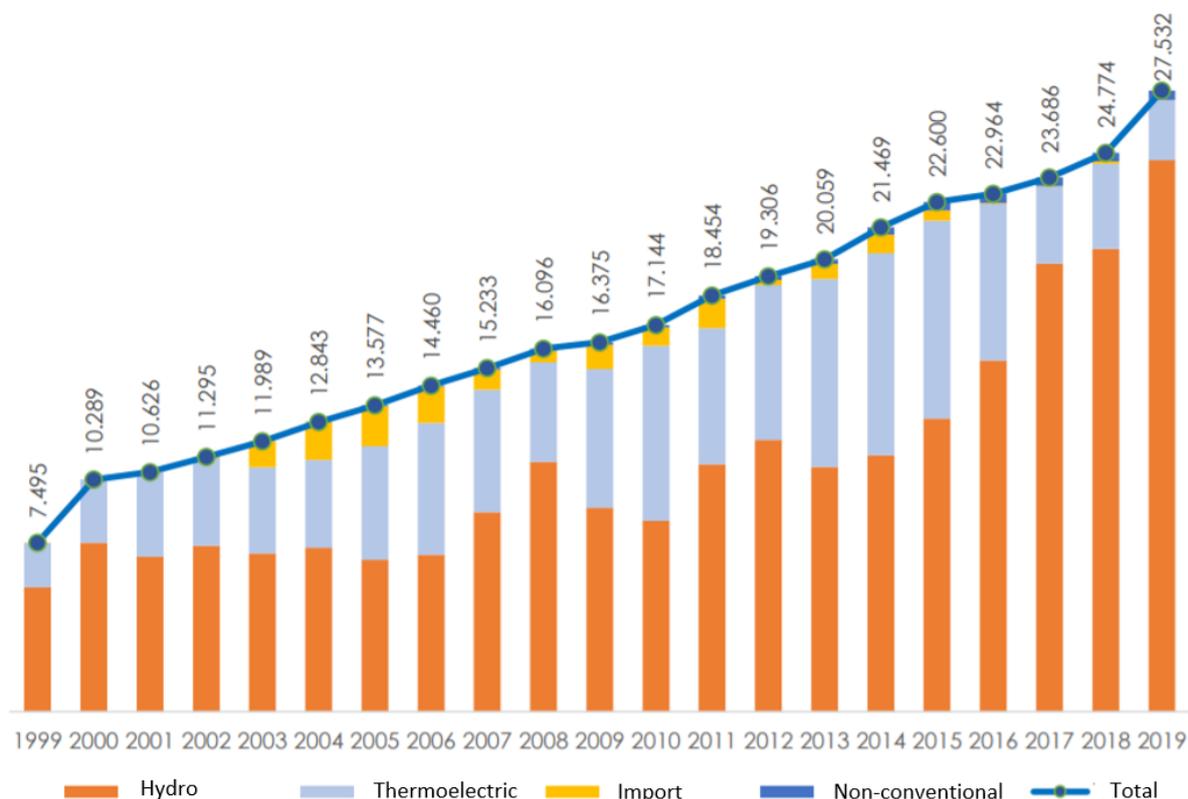


Figura 16. Generación eléctrica por tipo de producción en Ecuador (GWh), 2019.

1.2.1 Historia de la producción neta de energía.

La generación hidroeléctrica alcanzó el porcentaje más alto de la última década. Tras la incorporación de cinco centrales que utilizan esta fuente, el 81% de este recurso se produjo con estos sistemas, en 2018. Este porcentaje es hasta el momento el más alto en generación de energía con fuentes hídricas, publicado en el Balance Nacional de Energía 2017 y Operador Nacional de Energía (CENACE) [62]. Esto ha convertido a Ecuador en el principal productor de energía a base de agua en la región. En Colombia y Perú, esta fuente genera alrededor del 60% de la energía. Años atrás, en 2009, la generación de este recurso dependía

casi por igual de las centrales hidroeléctricas (51%) y térmicas (48%) [164, 165]. Estos últimos utilizan diésel, fuel oil, búnker y otros derivados, que son importados y contaminan el medio ambiente. Con el tiempo, esa relación cambió cuando comenzaron a operar progresivamente, desde 2015, Manduriacu, Sopladora, Coca Codo Sinclair. Y, desde finales de 2018, Delsitanisagua y Minas-San Francisco. Seguramente, con la operación de las centrales hidroeléctricas Toachi-Pilatón, Mazar-Dudas y Quijos, los porcentajes de generación de energía renovable con fuentes hídricas serán mayores. reunió. La generación de energía eléctrica a través de fuentes de energía renovables contemplada en el Plan Nacional para toda la Vida 2007-2021 en su objetivo 5 [145].

Es importante entender que con la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (ESRL), del 10 de octubre de 1996, se establece en el Ecuador el Mercado Eléctrico Mayorista con la participación de los generadores, distribuidores y grandes consumidores que hacen parte del SNI, así como Transacciones Internacionales de Electricidad. En este mercado se establecen dos tipos de operaciones comerciales: las operaciones en el mercado ocasional o mercado spot y el mercado de contratos a plazo. Se expide el Mandato Constitucional No. 15 de 23 de julio de 2008, publicado en el Registro Oficial No. 393 de 31 de julio de 2008, para cumplir con la responsabilidad del país en la prestación del servicio público de energía eléctrica, bajo los principios de eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, continuidad y calidad, a través del establecimiento de normas que permitan reformar la estructura operativa del mercado eléctrico ecuatoriano. Una de las principales reformas fue la eliminación del modelo marginalista y una mayor participación de un mercado de largo plazo, a través de contratos: contratos a término regulado que, como resultado de licitaciones públicas, se firman entre generadores y distribuidores privados; Contratos a plazo regulado suscritos entre generadores en los que el país tenga participación, sin excepción, y distribuidores; y, los contratos a término libremente pactados entre aquellos generadores privados y los grandes consumidores debidamente facultados. En este contexto, la Figura 17 muestra el cambio de estructura en la operación comercial del mercado eléctrico, apareciendo transacciones a través de contratos regulados que hasta enero de 2018 eran los únicos contratos que existían entre las empresas participantes. Así, también se evidencia la eliminación de los contratos no regulados desde 2009.

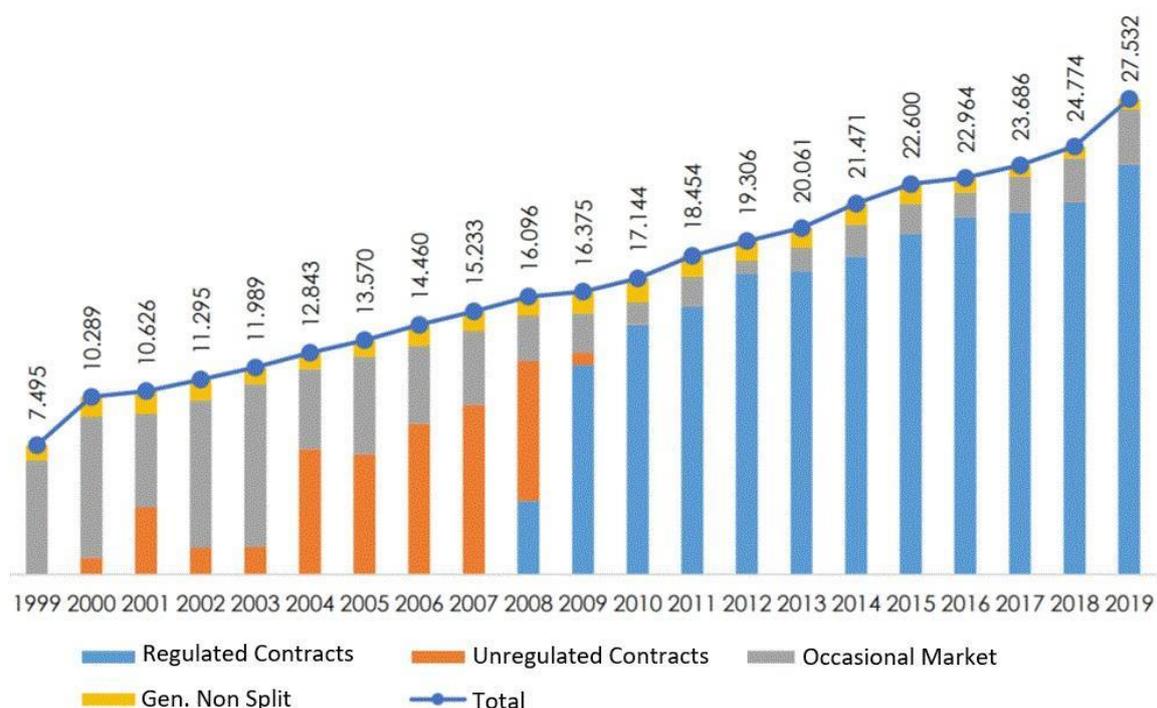


Figura 17. Generación de energía por tipo de transacción en Ecuador (GWh), 1999 – 2019.

La Tabla 3 muestra las relaciones y diferencias del sistema eléctrico ecuatoriano en el periodo 1999-2007 y el periodo 2007-2017 destacadas por [57].

Tabla 3. Características del contexto energético ecuatoriano.

Singularidades	Periodo 1999_2007	Periodo 2007_2017
Aspecto legal	Ley de Régimen del Sector Eléctrico aprobada en 1996.	La LRSE fue extinguida. Posteriormente, entró en vigencia la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE).
Organización estatal	CONELEC controlaba y regulaba el sector eléctrico, CENACE a cargo del aspecto comercial mayorista.	Conformado por instituciones gubernamentales: MEER, ARCONEL, CENACE, CELEC y CNEL. También sus unidades de negocio. Muy pocas empresas

		privadas a cargo de la generación de electricidad.
Acción estatal	El Estado regulaba y controlaba el sector eléctrico.	El Estado administra, regula, controla y gestiona todo el sector eléctrico (generación, transmisión y distribución).
Mercado	liberalizado	Regulado
Aspecto tarifario	Considerado por el mercado	Considerado por el ARCONEL

1.2.2 Producción de energía por fuente de generación.

Dentro de la última publicación del CENACE [147] al 2019, se especifica que la energía neta producida por las centrales consideradas en las transacciones del bloque en el 2019 fue de 27532,24 GWh, con una participación del 88,83% de la producción hidroeléctrica, seguida de la termoeléctrica con un 9,68%, una participación del 1,46% de la energía de generación no convencional y del 0,02% de las importaciones eléctricas internacionales (Ver Figura 18).

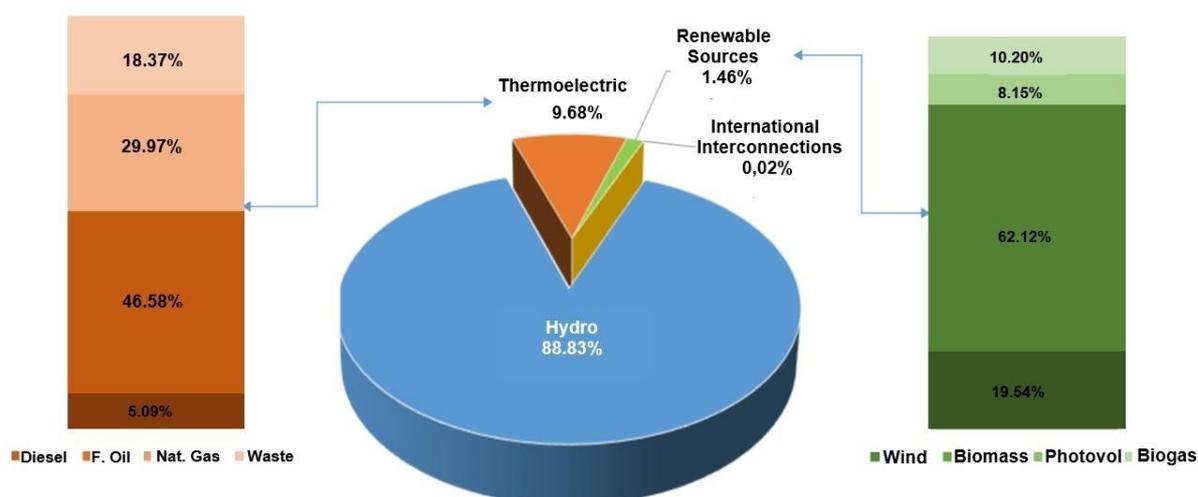


Figura 18. Porcentaje de generación por tipo de producción en Ecuador, 2019.

El Operador Nacional de Electricidad, CENACE, a través del Gobierno Nacional, genera la información técnica y estratégica necesaria para el desarrollo del sector eléctrico ecuatoriano como se muestra en la Figura 19. Esta información se puede obtener actualizada cada hora.

El récord de demanda máxima de 3949,9 MW se registró el 8 de mayo de 2019 alrededor de las 19:00 horas con un suministro del 91% con energía hidroeléctrica.



Figura 19. Información operativa anual en Ecuador al 11 de junio de 2020. (a) Producción de energía por fuente en GWh. (b) Contribución porcentual del sistema de generación (c) Perfil de generación eléctrica, febrero 2019-febrero 2020.

En relación a la producción termoeléctrica, el 46,58% de la generación se produjo con fuel oíl, uno de los combustibles menos costosos dentro del parque generador termoeléctrico, y sólo el 5,09% se produjo con diésel. Con respecto a las energías renovables que están ingresando al mix de producción de energía en el país, excluyendo la energía proveniente de la hidroeléctrica, se puede observar en la Figura 20 que la biomasa es energía renovable con muy buena aceptación con un 62,12% anual 2019.

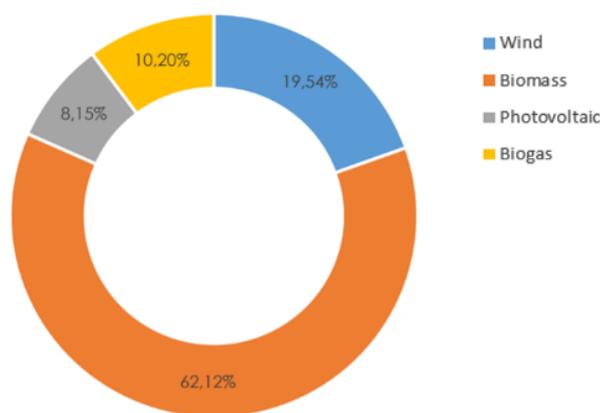


Figura 20. Producción de energía con fuentes renovables en Ecuador (GWh), 2019

A pesar de los grandes avances en aspectos de la producción hidroeléctrica a nivel nacional, el desarrollo de este sector no puede ser limitado. En los últimos años también se han

desarrollado proyectos de energía solar, eólica y de biomasa [62] acorde al cambio en la matriz productiva ecuatoriana. Prueba de ello es la construcción del parque eólico Villonaco en la Provincia de Loja [148] y el parque de energía solar en Galápagos [149]. También hay proyectos en desarrollo, como el Proyecto Minas de Huascachaca, que tendrá una capacidad de 50MW con 11 aerogeneradores [47], el proyecto eólico Villonaco II y III con una capacidad instalada de 110MW, y el Proyecto El Aromo, que en su lugar de Refinería del Pacífico albergará la Planta de Energía Fotovoltaica con una capacidad instalada de 200MW. El enfoque es que no solo es necesario satisfacer las necesidades energéticas actuales sino también la energía necesaria debido a la transferencia del uso de energía procedente de combustibles fósiles y la creciente demanda por el aumento de la población [150]. Desde hace más de una década, el Ecuador viene impulsando un cambio en la matriz productiva, traspasando una matriz productiva basada en combustibles fósiles por la de energías limpias y renovables, tal como lo establece la Constitución del Ecuador, pues es un derecho al Buen Vivir en su capítulo II para vivir en un ambiente sano [151]. En el Capítulo VI se consideran los derechos de la naturaleza, una de las pocas constituciones junto con la de Bolivia que prevé estos derechos y garantías [60]. En el anterior Plan para el Buen Vivir, al igual que en el Plan Nacional por Toda la Vida vigente, se promueve el uso de energías renovables.

1.2.3 Historia de la demanda total.

La información histórica sobre la demanda de energía permite apreciar una tendencia creciente, consistente con la información presentada anteriormente en la historia de la generación de energía. Es necesario indicar que la demanda presentada en la Figura 21 considera la demanda comercial de exportación de electricidad.

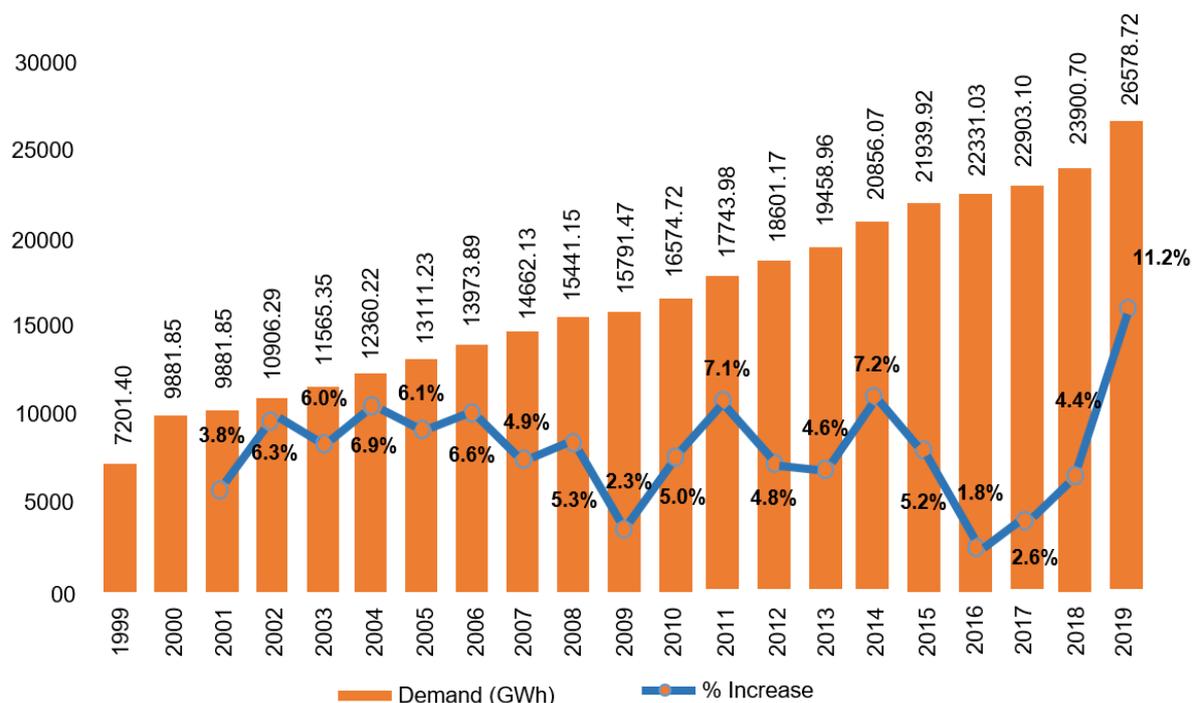


Figura 21. Comportamiento histórico de la demanda total en Ecuador (GWh), 1999 – 2019

Para el 2019, aproximadamente el 99,98% de la producción se ha generado con las plantas de generación del país (27532,24 GWh), mientras que solo el 0,02% restante (5,83 GWh) se ha cubierto con importaciones de electricidad como se muestra en la Fig. 22a. Por otra parte, aproximadamente el 93,13% de la demanda comercial del sistema (26.568,66 GWh), ha sido para consumo del país, mientras que el 6,87% restante corresponde a exportaciones de energía eléctrica. Durante 2019, los valores de importación corresponden a intercambios mínimos no previstos por la operación de la interconexión cerrada en modo síncrono bajo el mando del control automático de generación.

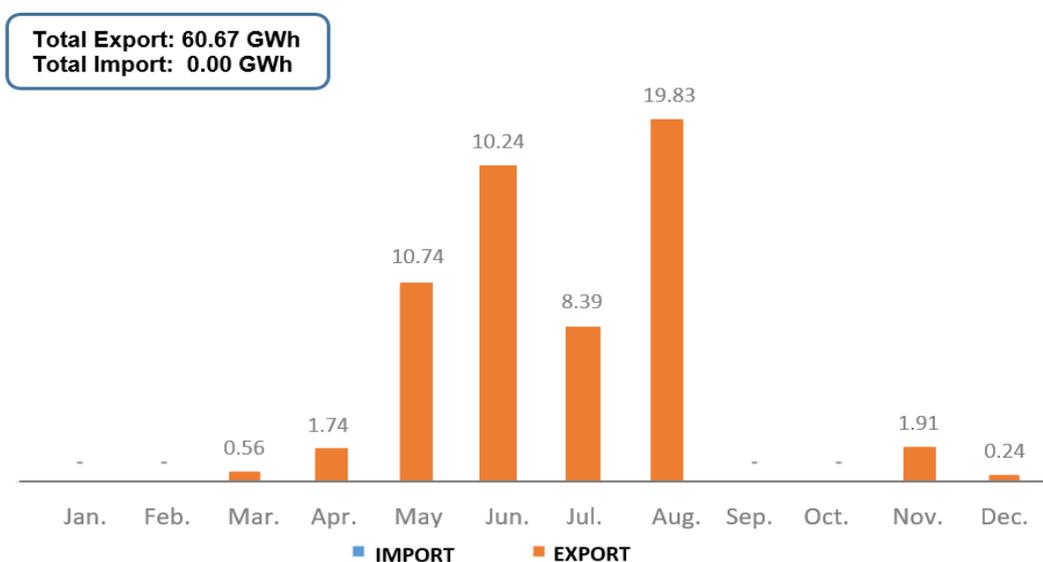
1.2.4 Transacciones internacionales de electricidad con Colombia y Perú.

En cuanto a las exportaciones de energía consideradas en la Fig. 22b, en febrero y marzo de 2019 se presentaron los valores más altos debido a que el parque generador contaba con condiciones hidrológicas que le permitían ofrecer excedentes de energía a Colombia. Es necesario mencionar que Ecuador y Colombia operan con los cuatro circuitos a 230 kV cerrados; es decir, los países siempre están interconectados; por lo tanto, permanentemente existen intercambios de energía, los cuales se denominan intercambios imprevistos y se liquidan como importación o exportación según corresponda. Para el 2019 no hubo importaciones de energía eléctrica, gracias a las condiciones hidrológicas que presenta el

país en la mayor parte del año; Solo se produjeron exportaciones por contingencias puntuales presentadas en el sistema eléctrico peruano, que permitieron viabilizar transacciones con el vecino país.



(a)



(b)

Figura 22. Transacciones internacionales de electricidad en 2019. (a) Colombia. (b) Perú.

En 2016 se registraron los precios promedio más altos en la historia de las importaciones y exportaciones de energía eléctrica con Colombia; sin embargo, en este mismo año las importaciones disminuyeron un 90% y las exportaciones aumentaron un 737% con relación al 2015. Es importante señalar que en el 2019 las exportaciones aumentaron un 657% con respecto al 2018, como se observa en la Fig. 23a. En la Fig. 23b se registran las transacciones realizadas en los últimos cinco años con Perú, principalmente por exportación de electricidad.

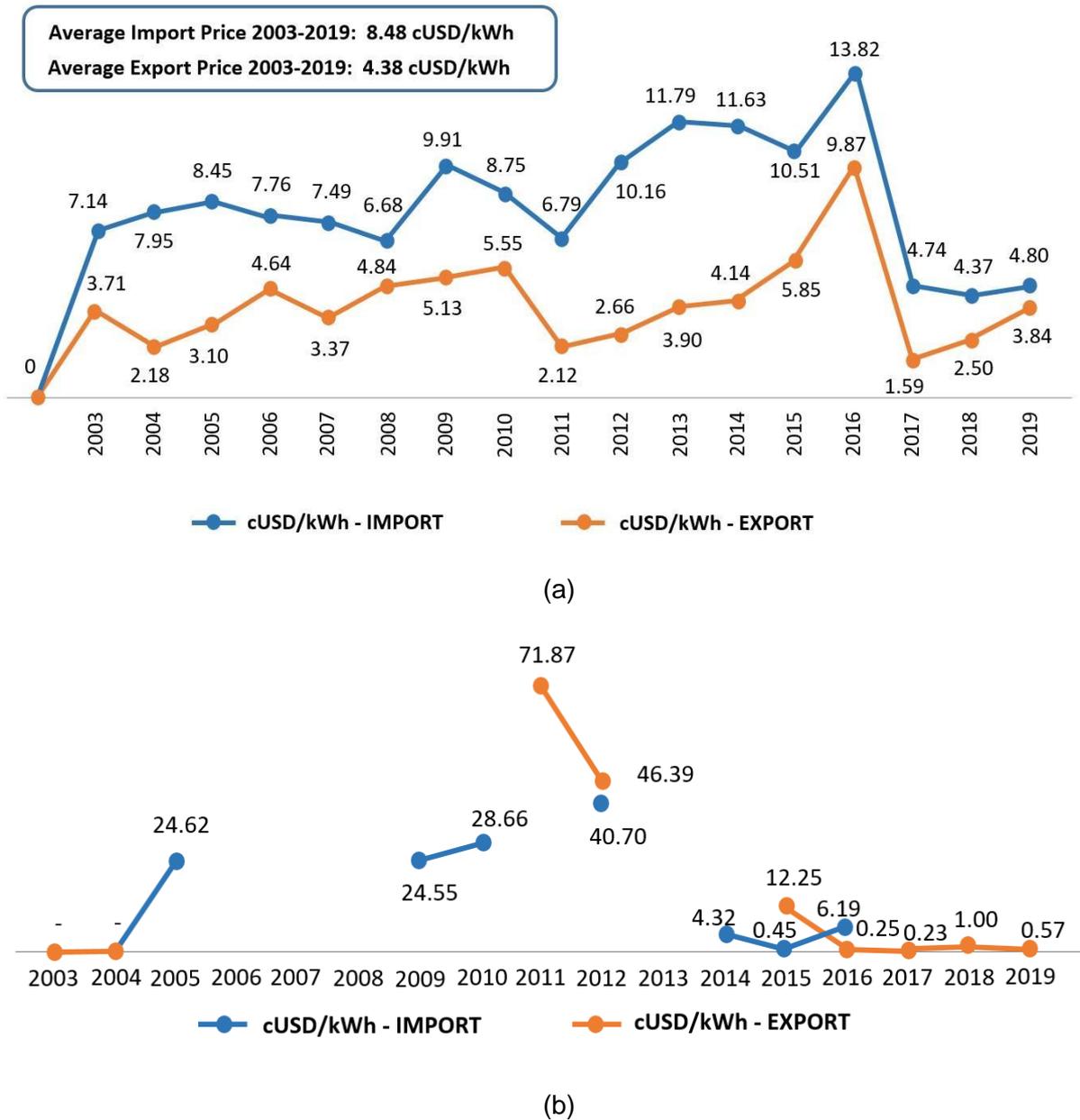


Figura 23. Análisis de precios de exportación de energía eléctrica. (a) Precios promedio TIE Colombia 2003 - 2019. (b) Precios promedio TIE Perú 2003 - 2019

1.2.5 Estrategias de Eficiencia Energética.

Ecuador también trabaja para migrar tecnologías obsoletas y contaminantes al nivel de la demanda, ya que no es suficiente producir energía limpia cuando hay una demanda que aún contamina [62]. El progreso en este sentido está en constante progreso. Podemos citar la promulgación de la nueva ley de eficiencia energética que obliga a partir del año 2025 a adquirir vehículos de transporte público eléctricos [152] sin embargo, llama la atención que más que la ley es la colaboración de los municipios y ciudadanos conscientes de estos cambios para proteger nuestro medio ambiente, dando lugar por ejemplo a la implementación de nuevos taxis eléctricos en la ciudad de Loja [153], la puesta en marcha del tranvía 4Ríos en Cuenca [66], el lento pero importante cambio de las cocinas de GLP a cocinas eléctricas [67]. La demanda de gas natural en Ecuador ha afectado a los hogares y, al ser subvencionado, la mayoría de los ciudadanos prefieren su uso para cocinar alimentos y calentar agua; sin embargo, el gobierno está buscando formas de compensar este crecimiento con subsidios a la electricidad donde no se superen los 100kWh dado su aumento en la producción de energía a partir de fuentes ER que se incorporaron en la última década y continúan penetrando el mercado energético nacional. La Tabla 4 resume seis planes o programas de eficiencia energética que están siendo aplicados por el gobierno anterior y que están siendo aplicados actualmente. el gobierno está buscando formas de compensar este crecimiento con subsidios a la electricidad donde no se superen los 100kWh dado su incremento en la producción de energía a partir de fuentes ER que se incorporaron en la última década y continúan penetrando el mercado energético nacional. La Tabla 4 resume seis planes o programas de eficiencia energética que están siendo aplicados por el gobierno anterior y que están siendo aplicados actualmente. el gobierno está buscando formas de compensar este crecimiento con subsidios a la electricidad donde no se superen los 100kWh dado su incremento en la producción de energía a partir de fuentes ER que se incorporaron en la última década y continúan penetrando el mercado energético nacional. La Tabla 4 resume seis planes o programas de eficiencia energética que están siendo aplicados por el gobierno anterior y que están siendo aplicados actualmente.

Tabla 4. Programas ecuatorianos de eficiencia energética.

Programas	Denominación
1. Programa de reducción de pérdidas técnicas.	El objetivo es minimizar las pérdidas técnicas en la transmisión y distribución eléctrica.
2. Programa de cocción seguro y eficiente en energía.	Cocinar con estufas eléctricas de inducción.
3. Programa de estandarización y codificación de equipos.	Su objetivo es promover la adquisición de equipos de alta eficiencia en el ámbito residencial.
4. Programa de reemplazo eficaz.	Sustitución de electrodomésticos como congeladores y frigoríficos ineficientes. Sustitución de focos de alto consumo por focos de bajo consumo que brinden niveles adecuados de iluminación a nivel residencial y en espacios públicos donde exista iluminación.
5. Programa de educación y capacitación del personal del sector público.	Fomentar el ahorro energético en los edificios e instalaciones del sector público.
6. Indicadores de gestión.	Implementación de la ISO 50001.

De acuerdo a la literatura expuesta en las secciones anteriores, es claro que América del Sur y el mundo entero están modificando fuertemente su matriz energética y como principal aliado tienen las energías renovables. Hay claros avances y penetración de tecnologías de energía limpia a precios cada vez más accesibles. Con estas motivaciones, están minimizando los riesgos de su sistema energético dependiente del petróleo y, con prontitud, llevan a cabo sus planes de modificación de sus sistemas de generación de energía. En este sentido, Ecuador está trabajando arduamente para hacer realidad el cambio de su matriz energética y el aumento de la producción a partir de fuentes de energía renovables. En la Figura 24 podemos identificar las fuentes de suministro de energía compuestas por energías renovables y derivados del petróleo, ya la salida podemos identificar la demanda clasificada por sectores a marzo de 2020 proporcionada por [154].

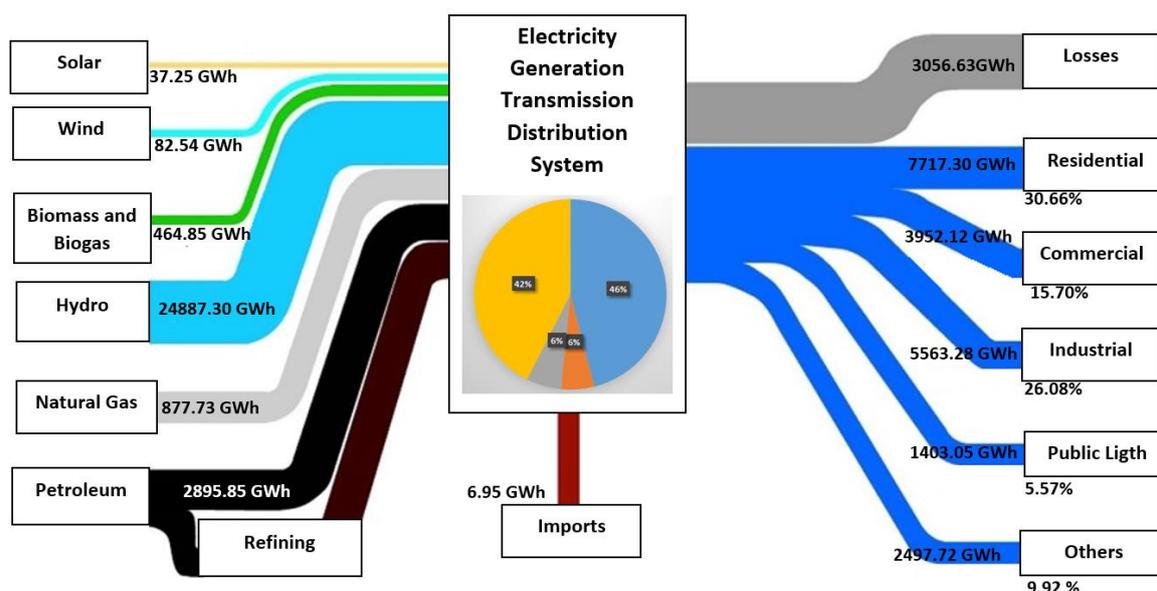


Figura 24. Corte de balance del sistema eléctrico ecuatoriano marzo 2020.

En el Ecuador hay muy buenas perspectivas para seguir modificando la matriz productiva, en gran medida se analizó que la parte legal y regulatoria genera un buen ambiente para que las energías renovables puedan acercarse a las ciudades ecuatorianas, sumado a los programas y planes de gobierno para el desarrollo nacional genera estas oportunidades y siempre se cubra la demanda de energía eléctrica. Es cierto que la hidroelectricidad sigue jugando un papel importante con más del 80% de la generación, también están en marcha nuevos proyectos y la diversificación de las fuentes de energía renovables es posible gracias a los presupuestos que anualmente asigna el Gobierno Nacional. En este sentido, varios autores ya han dado a conocer sus pronósticos, entre ellos Golla, S.et all. [155] en el que acaba con el petróleo y traza un escenario considerando un mix energético. Adicionalmente, Arroyo M. [156] destaca claramente que las energías renovables jugarán un papel protagónico en la gobernanza energética sostenible y las políticas ambientales para mitigar el cambio climático en Ecuador. Propone al sector eléctrico innovar y, sobre todo, hacer planes a largo plazo.

En consecuencia, con estos enfoques y los datos disponibles aquí de una manera más precisa, Ecuador avanza hacia la modernización del sector eléctrico a un ritmo que pudiera ser mayor. En este sentido, como aporte de esta investigación, también se considera proponer el escenario 100% renovable al 2050 utilizando una metodología similar a la recomendada por [111] y presentada de manera resumida en varias investigaciones de referencia, como las descritas en [100,115,157] con el objetivo principal de orientar el camino a seguir para la toma de decisiones y desarrollar acciones coherentes para cumplir con estos propósitos. Estos sistemas de planificación hoy se han vuelto innovadores y presentan claramente el horizonte de desarrollo al que se debe impulsar en el aspecto energético. No

contempla tendencias políticas o socioculturales. Sin ser el objetivo principal pero consciente de brindar respuestas y caminos de desarrollo de largo plazo para el Ecuador y se cubra la demanda creciente, nos permitimos presentar los resultados considerando la recomendación de [150,158] de diversificar las fuentes de energía renovable, de acuerdo al potencial energético disponible. En este sentido, las referencias [159,160] destacan el rico potencial energético disponible en diferentes zonas del país, incluyendo Galápagos [161]. Destacan la eólica, la solar, la hidroeléctrica, la biomasa, la geotérmica y otras en pequeña escala [156].

1.3 Situación inicial de la Ciudad de Cuenca-Azuay inmersa en el contexto nacional ecuatoriano.

La Ciudad de Cuenca está ubicada dentro de la provincial del Azuay es el polo más importante en el desarrollo de la región, zona geográfica central del Ecuador muy estratégica y con muy buenas posibilidades de autosustentarse de energía renovable tal como vamos a identificar en la cartografía que presentamos en esta misma sección, es una ciudad que por su gente que ama su territorio ha sido pionera en muchos aspectos de renombre desde las artes, la arquitectura muy desarrollada, pioneros en aspectos tecnológicos y medioambientales, destacados a nivel latinoamericano por disponer de empresas municipales eficientes como la Empresa Eléctrica Centros Sur, Etapa EP, EMAC EP siempre en beneficio de sus ciudadanos. Nuestro interés es brindar un panorama general de aprovechar los recursos renovables existentes de la zona y al año 2050 que es referencial para la mayor parte de países y ciudades a nivel mundial donde se pueda sustituir los combustibles fósiles por energía 100% renovable.

En el aspecto netamente energético [90] nos presenta en su artículo la situación del Ecuador en lo que se refiere al potencial eólico, de radiación solar, térmica e hidráulica.

1.3.1 Energía Eólica.

En esta parte se observa en la Figura 25 el mapa de potencial eólico, es posible comenzar con la información contenida en el Atlas eólico de Ecuador con fines de generación de energía. El Atlas se desarrolla en el sistema MesoMap, junto con un modelo de micro escala de flujo de viento simplificado, WindMap, que genera un conjunto de mapas de velocidades de viento anuales para el continente con una resolución de 200 m.

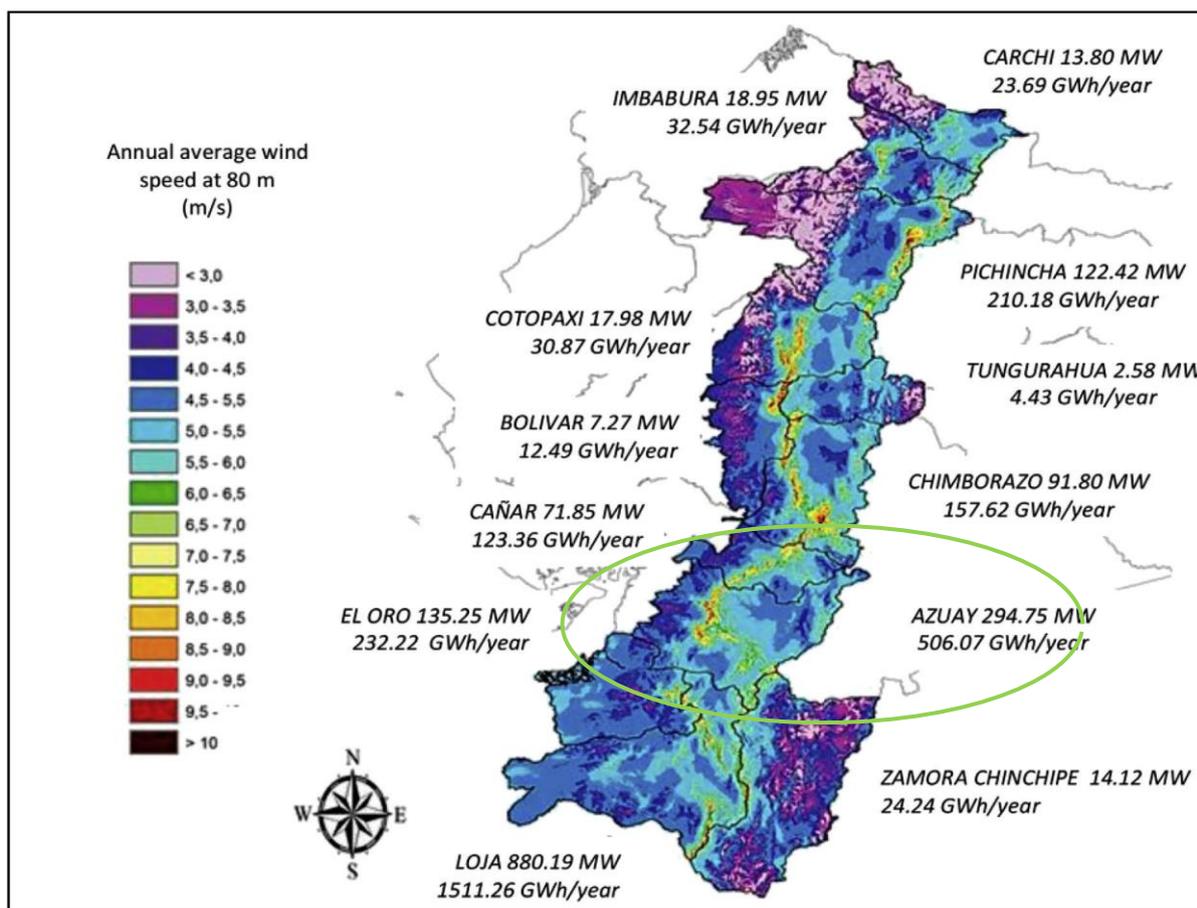


Figura 25. Potencial eólico técnico (MW) y energía eólica (GWh/año) en provincias seleccionadas [29].

Como podemos identificar en la Figura 25 la provincia del Azuay tiene un importante potencial eólico con 506.07GWh/año, es la segunda mejor considerada al Sur del Ecuador después de Loja donde se encuentra la Central Eólica Villonaco.

1.3.2 Energía solar FV

El mapa de la distribución provincial de electricidad FV se muestra en la Figura 26, apreciando que, como se esperaba, las provincias de ambas regiones (Costa y Oriente) tienen el mayor valor de generación de energía fotovoltaica. Los resultados de la producción de PV conllevan un procedimiento de cálculo bastante similar a la energía eólica.

En este aspecto la Provincia del Azuay no es la provincial con mejores indicadores en relación al potencia de energía solar comparado con las provincias de la Región Amazónica y de la Costa, sin embargo hay que destacar que la Provincia del Azuay es la Provincia con mayor disponibilidad de aprovechamiento de esta fuente de energía y eso se puede identificar en la

práctica con proyectos de interés social como la existente BICI-pública [162] que puso a disposición la Municipalidad de Cuenca, instalaciones de plantas solares aisladas como las de Quingeo [163–165], Universidad Politécnica Salesiana [166], Mirador turístico la Tranca en Chordeleg [167], etc

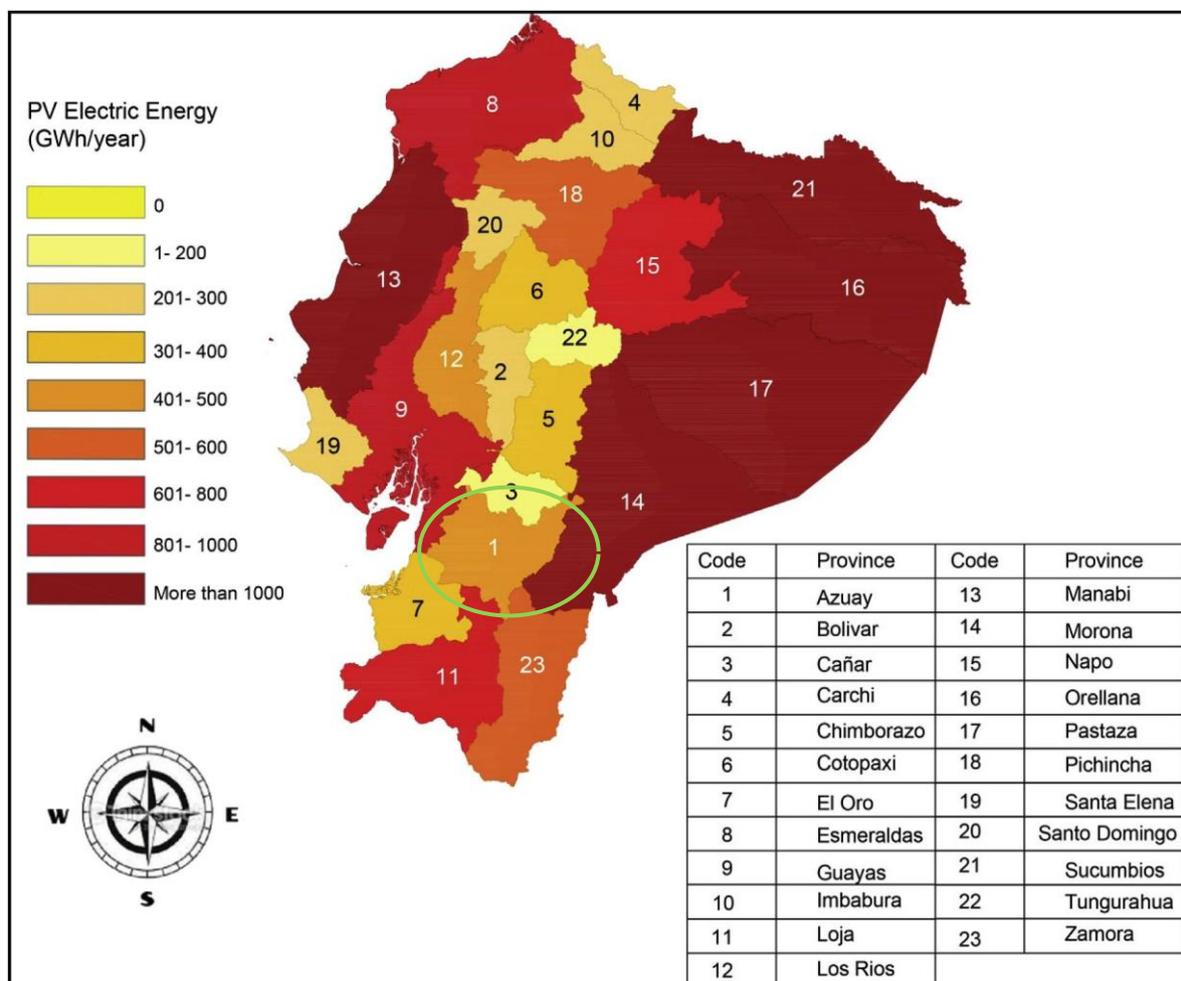


Figura 26. Energía eléctrica FV por provincia (GWh/año).

1.3.3 Energía geotérmica

Entre los estudios más actualizados y mejor aporte nos brindan están las Refs. [92, 93], donde el potencial teórico está entre 6500 MW y 8000 MW. Estos valores se calcularon utilizando la relación empírica propuesta en la Ref. [168] al agregar el número de volcanes activos y el potencial geotérmico, sabiendo que nuestro país tiene alrededor de 40 volcanes activos según la referencia [103]. Este potencial, superior a la capacidad instalada total de Ecuador en 2014, lleva a determinar el potencial técnico con un valor de 952 MWe, obtenido de estudios de factibilidad para cuatro prospectos geotérmicos de alta temperatura, tres de los cuales están listos para la exploración profunda. También hay once perspectivas en la etapa

Planificación energética inteligente a largo plazo integrando sistemas de energías renovables para cubrir la demanda eléctrica futura del Ecuador

de reconocimiento, cuatro con temperatura alta y el resto con fluidos a las temperaturas más adecuadas para uso directo. Estas perspectivas se muestran en la Figura 27.

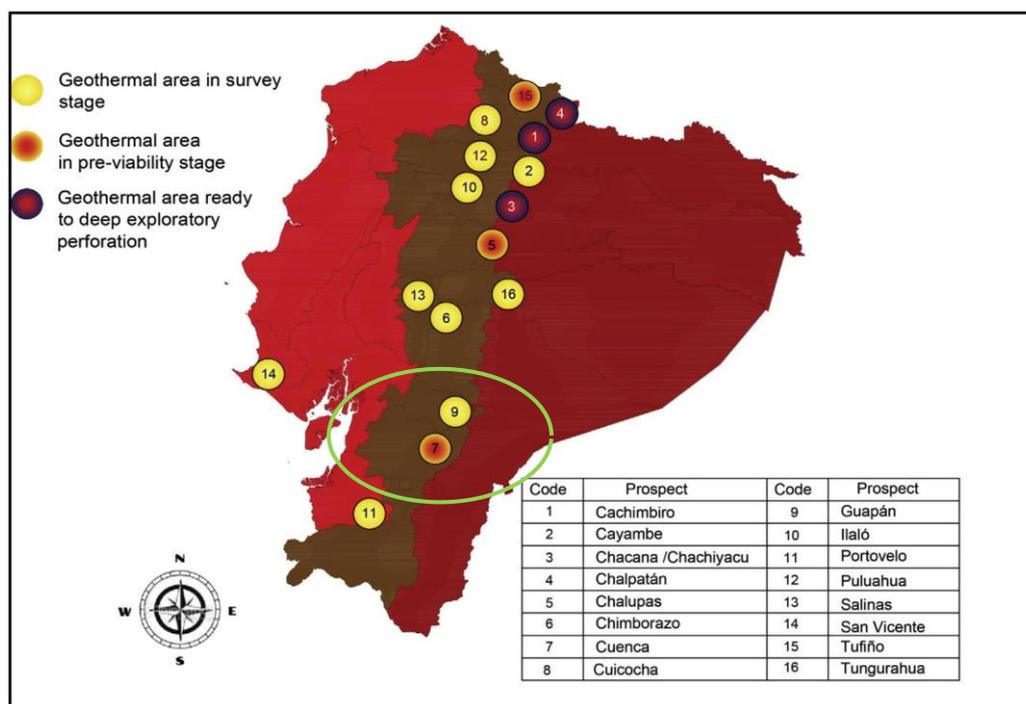


Figura 27. Ubicación del potencial geotérmico en el Azuay en el contexto Ecuatoriano [90]

1.3.4 Energía hidráulica

Se obtiene el potencial teórico hidroeléctrico del Ecuador del flujo promedio total calculado en 15,123 m³/s, dando un valor de aproximadamente 93,400 MW, equivalente a 615,175 GWh/año [169]. Mientras tanto, en la Ref. [170] el potencial hidroeléctrico del país es de 91 GW para potencial teórico; 31GW y 22GW para potenciales técnicos y económicos, respectivamente, ver Figura 28.

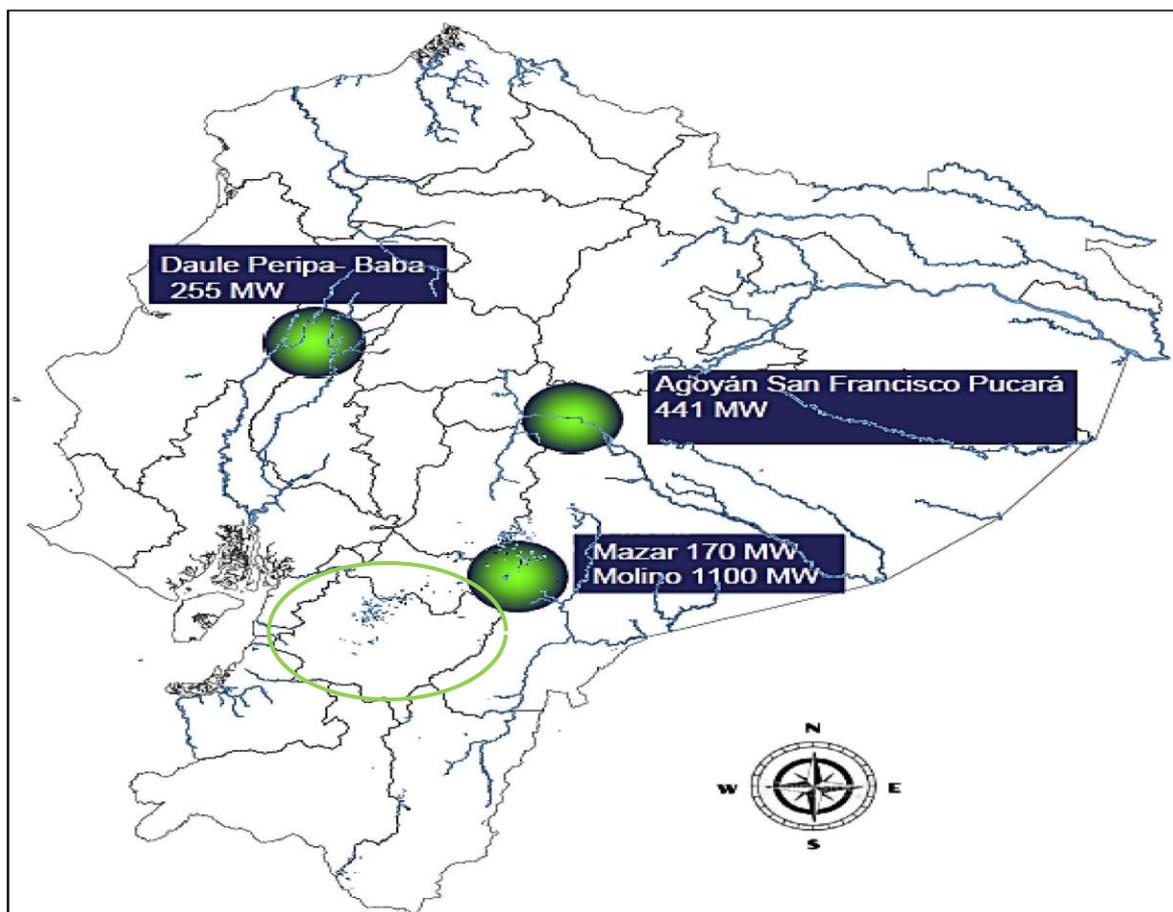


Figura 28. Ubicación de plantas hidroeléctricas sobre los límites de la Provincia del Azuay dentro del contexto Ecuatoriano [29].

1.4 Modelo energético con visión a 2050.

1.4.1 Efectos técnicos.

Las energías renovables están generando confianza en los países, actualmente hay diversas experiencias a nivel mundial y en los países de Sudamérica están tomando fuerza. Es muy recomendable tener diversidad de fuentes de energía en un país, al 2050 lo proyectamos como un año de referencia en el que es posible lograr un sistema 100% renovable. Sin embargo, es importante evaluar el nivel de incidencia de las energías renovables en el año definido como base de transición a través del Factor Renovable (RF) indicado a continuación (1) y (2):

$$Renewable Factor (RF) = \left(1 - \frac{\sum P_{non-renewable}}{\sum P_{renewable}}\right) \times 100 \quad (1)$$

$$RF = \left(1 - \frac{\sum P_{diesel} + \sum P_{gasoline} + \sum P_{coal} + \dots + \sum P_{others non-renewables}}{\sum P_{PV} + \sum P_{wind} + \sum P_{hydro} + \dots + \sum P_{other renewables}}\right) \times 100 \quad (2)$$

Las energías no renovables son principalmente las derivadas del petróleo y del carbón expresadas con $\sum P_{diesel} + \sum P_{gasoline} + \sum P_{coal} + \dots + \sum P_{others non-renewables}$. También se pueden evaluar otras fuentes de un tipo contaminante dependiendo de la realidad de cada país. En cuanto a las fuentes de energía renovables, son todas aquellas que intervienen en el mix energético como la eólica, solar, hidráulica, entre otras que son de origen renovable $\sum P_{PV} + \sum P_{wind} + \sum P_{biomass} + \dots + \sum P_{other renewables}$. Para 2050, se espera que este factor sea matemáticamente 1 ($RF = 1$).

Evaluando el sistema eléctrico en el año base que servirá de referencia y sobre todo se puede cuantificar se propone un horizonte de desarrollo energético que es al 2050 en nuestro caso, la relación matemática se establece a continuación (3):

$$TAPE = \sum P_{rene-2050} - (\sum P_{rene base year} - \sum P_{non-rene}) \quad (3)$$

Donde TAPE corresponde a la Energía Total Adicional Proyectada, es la Potencia total suministrada evaluada en el año 2050, es la potencia nominal suministrada en el año base que sirve de referencia para realizar las proyecciones, es la potencia generada no renovable, proveniente de fuentes contaminantes que deben ser reemplazadas por fuentes de energía renovable típicamente producidas en el año base $P_{rene-2050} P_{rene base year} P_{non-rene}$

El Energy Supply Ratio (ESR) se caracteriza por la posibilidad de que las energías renovables implementadas en un país satisfagan la demanda de energía eléctrica para un rango de tiempo de 0 a T, como se expresa en la relación (4).

$$ESR = \sum_0^T \frac{P_{rene-2050} - P_{DEMAND_2050}}{P_{rene-2050}} \quad (4)$$

Donde está la energía renovable total suministrada en 2050, es la demanda de carga proyectada en 2050. $P_{rene-2050} P_{DEMAND_2050}$

Cuando $P_{rene-2050} > P_{DEMAND_2050}$ Hay un excedente de energía por año objetivo que se puede utilizar para exportar a países vecinos.

Cuando $P_{rene-2050} < P_{DEMAND_2050}$ Hay escasez de energía en el año meta lo que representa un serio inconveniente en el desarrollo del país.

Cuando $P_{rene-2050} = P_{DEMAND_2050}$ Hay un equilibrio entre la producción y el consumo de energía eléctrica, es un punto de riesgo de escasez de energía.

Un sistema de almacenamiento de energía es importante para no caer en un rango de escasez y aprovechar las horas de exceso de energía.

1.4.2 Coste de la energía.

Esta sección describe el diseño del sistema de energía renovable basado en el costo de la energía (COE), que es un factor bien conocido e importante para obtener un sistema óptimo y rentable. El coste medio por kWh de la energía eléctrica útil generada se conoce como COE [171]. El COE evaluado:

$$COE = \frac{TNPC}{\sum_{H=1}^{H=8760} PL} \times C_{RF} \quad (5)$$

Donde, PL es el consumo horario de energía en kWh, TNPC es un costo total neto actual de \$ y CRF es el factor de recuperación de capital CRF. El CRF es una razón utilizada para calcular la estimación actual de los beneficios, es decir, una progresión de flujos monetarios anuales equivalentes. Se evalúa mediante la siguiente ecuación [136]:

$$C_{RF} = \frac{I(1+I)^N}{(1+I)^N - 1} \quad (6)$$

I es la tasa de interés real, N es el número de años.

1.4.3 Índice de Desarrollo Humano (IDH)

En general, el Índice de Desarrollo Humano (IDH) se utiliza como instrumento estadístico para escalar los logros generales de una nación en sus medidas sociales y financieras. Yashwant Sawle et al [172] representa el IDH como la suma de los elementos "y" y el enfoque de control "z" evaluados con base en la ecuación (7) expresada a continuación:

$$\begin{aligned} HDI &= 0.091 \ln \left[\frac{P_{LY}}{C} \right] + 0.07214 HDI_{y,z} \\ &= 0.0978 \left[\left(P_{LOAD} + \min(f_{maxSE} \cdot P_{SE} \cdot f_{maxpload} \cdot P_{LOAD}) \right) / n_{HUMAN} \right] - 0.319 f_{maxSE} \end{aligned} \quad (7)$$

Dónde;

f_{maxSE} : Elemento de máximo consumo de energía eléctrica excedentaria y puede ser utilizado para carga AC adicional.

Planificación energética inteligente a largo plazo integrando sistemas de energías renovables para cubrir la demanda eléctrica futura del Ecuador

$\frac{P_{LY}}{C}$: Energía consumo anual de electricidad per cápita en kWh/año/persona.

P_{SE} : Energía excedentaria anual del sistema en kWh/año.

$f_{maxload}$: Elemento que permite aumentar la carga AC anual y que se pueda aprovechar al máximo la energía excedentaria.

n_{HUMAN} : Número de personas que consumen energía generada a partir del sistema híbrido.

1.5. Contexto energético del Ecuador y objetivos de la tesis doctoral

En los últimos tiempos, el sector eléctrico ecuatoriano ha sufrido cambios en su modelo de operación y gestión. Ha sido muy vulnerable dado el manejo político y poco responsable de administraciones pasadas. Los cambios han dependido en gran medida de los precios del petróleo debido a que históricamente ha sido la principal fuente de exportación y, por lo tanto, una fuente de ingresos clave para el Estado ecuatoriano. Durante el auge del precio del petróleo entre los años 2007 y 2014 los ingresos de las exportaciones alcanzaron un promedio del 58% del total de las exportaciones del país sudamericano (BCE, 2017). Una muy buena parte de los ingresos económicos provenientes del petróleo se han invertido en proyectos de generación de energía renovable principalmente en centrales hidroeléctricas y otras no convencionales.

Los cambios que se han producido en el sector eléctrico ecuatoriano, se pueden identificar principalmente en tres períodos: 1961-1999, 1999-2007 y 2007-actulidad. En el primer y tercer período, el sector eléctrico ecuatoriano ha sido operado y controlado por instituciones públicas de propiedad estatal. El primer período correspondió a un modelo vertical de monopolio estatal, y el tercero se ha caracterizado por la existencia de un modelo de mercado mayorista regulado, en el que el modelo vertical se desintegró parcialmente pero el papel influyente del Estado ecuatoriano se ha mantenido intacto. En cambio, el período de 1999 a 2007 puso fin al monopolio estatal del primer período y estableció un modelo de mercado mayorista liberalizado. El tercer momento se inicia en el año 2007 con el gobierno del Presidente Rafael Correa, rescatando el papel del estado como responsable del manejo y gestión de las áreas estratégicas, promulgándose el Mandato Constituyente N° 15, conocido como Mandato Eléctrico en el que se dicta el camino a seguir para la reunificación de todo el sector; además dispone que la inversión necesaria para el rescate y mantenimiento del sector se hará mediante el presupuesto general del Estado.

Con la nueva estructura organizativa, el MEER es la autoridad nacional de energía. Bajo el MEER está la ARCONEL. Por otro lado, el mercado mayorista regulado está formado por las denominadas "unidades de negocio", constituidas por generadores públicos, empresas distribuidoras y grandes consumidores que se incorporan al Sistema Nacional Interconectado (SNI). Además, los generadores privados y otras pequeñas empresas públicas de distribución que funcionan de manera similar a las empresas privadas son también actores del sector eléctrico.

Como se ha expuesto, el sistema eléctrico ecuatoriano no ha tenido un horizonte definido a largo plazo, mucho peor hay una planificación sistemática para llevar a cabo una transición energética ordenada. Esta tesis da una visión distinta a lo que históricamente se ha venido suscitando, se crea una hoja de ruta para 2050 en un escenario factible recomendable con la participación de las energías renovables de un modo diversificado, aprovechando las bondades y recursos energéticos disponibles en el territorio. La **publicación “Analysis and proposal of energy planning and renewable energy plans in South America: Case study of Ecuador”** realiza un análisis exhaustivo del sistema de energía eléctrica en Sudamérica, los planes y políticas que cada país ha promulgado y la incidencia que en los últimos años van teniendo las energías renovables. En la parte final de este artículo se analiza a profundidad el caso ecuatoriano, sus niveles de producción de energía tanto en energía renovable y no renovable, la demanda eléctrica por sector y se trazan los escenarios a largo plazo con el apoyo de EnergyPLAN con el objetivo que estos escenarios permitan dejar de lado los combustibles fósiles y se logre una descarbonización en un 100%.

La **publicación “Proposal of 100% renewable energy production for the City of Cuenca-Ecuador by 2050”** realiza un análisis energético dentro del Ecuador, para ello se ha considerado a la Ciudad de Cuenca. Se hace un análisis similar al anterior artículo, mientras en el otro se evaluaba al Ecuador dentro del contexto sudamericano, ahora se evalúa a la Ciudad de Cuenca en el contexto ecuatoriano para trazar la hoja de ruta al 2050. Los resultados resultan interesantes dado que existe en los dos casos el potencial energético disponible y técnicamente es posible transformar los sistemas actuales basados en combustibles fósiles en uno más amigable con el medio ambiente. También en los dos casos se trazan los escenarios económicos con el propósito de dar alternativas de inversión debido a que el país no cuenta con una cartera fiscal suficiente que permita invertir en proyectos de generación de energía.

Posteriormente fue necesario comprobar que los análisis efectuados con EnergyPLAN resulten lo más confiables posibles y también nos permitan compararnos con otros países que disponen de sistemas de energía renovable mucho más consolidados que el Ecuador y

por ende el año base sea diferente al que lo hemos ingresado en los casos previos con componentes de energía diferentes, se llevó a cabo la **publicación “Renewable energy driven heat pumps decarbonization potential in existing residential buildings: Roadmap and case study of Spain”** en la cual se pudo identificar que los sistemas de energía mientras mayor porcentaje de energías renovables se disponga en el año base y mayor diversificación de fuentes se emplee, mayor es la probabilidad de ofrecer continuidad y calidad de la energía hacia la demanda. Estos tres artículos están desarrollados desde una perspectiva macro producto de políticas y estructuras energéticas impulsadas a nivel nacional e internacional.

Sin embargo, también es necesario analizar que sucede a nivel micro y de alguna forma estudiar algunos desarrollos a nivel internacional. En este aspecto se analiza un sistema híbrido desarrollado en el Ecuador en el Cantón Cuenca donde se aprovechan los recursos energéticos disponibles en sitio en un esquema 100% renovable. Se trata de la **publicación “Modeling and Simulation of a Hybrid System of Solar Panels and Wind Turbines for the Supply of Autonomous Electrical Energy to Organic Architectures”** que soluciona un problema importante en la zona donde no se disponía de energía eléctrica y la población se abastecía de combustibles fósiles a precios muy altos, a más de ello se necesitaba trasladar grandes bombonas de este combustible a sitios con acceso limitado. Las energías renovables al ser utilizadas en diversas aplicaciones en las comunidades han dado un giro notable en sus sistemas de producción que se van extendiendo a lo largo y ancho del Austro Ecuatoriano. El ejemplo más claro es la desarrollada en esta publicación que a más de dar solución a un problema de falta de energía eléctrica, ha permitido que la edificación orgánica novedosa tipo avión a generado un impacto notable en el sector, el turismo se ha incrementado y en las cercanías los pequeños negocios de artesanías, de comida rápida, trajes típicos de la zona se han vuelto de atracción para el turista nacional y extranjero.

En esta tesis no se ha limitado a una investigación muy vertical donde se analicen los aspectos directamente influyentes en la actualidad y que están directamente relacionadas con el territorio, también se ha visto necesario realizar análisis hacia fuera y poder comparar estos avances con otros. El caso español ha sido muy interesante y enriquecedor en esta tesis por ello se desarrolló el estudio que dio lugar a la **publicación “Combined vehicle to building (V2B) and vehicle to home (V2H) strategy to increase electric vehicle market share”**. Con este estudio es posible dar una mirada al Ecuador y aceptar que muy poco se ha realizado para llegar a estos niveles de desarrollo. Sin embargo, este estudio permite tener una mayor consciencia de redireccionar las políticas ecuatorianas y si bien se torna bastante complicado en los actuales momentos llevar a cabo aplicaciones donde los vehículos eléctricos se complementen con los sistemas de energía eléctrica es posible plantear a largo

plazo en el cual el mismo desarrollo tecnológico servirá de presión para que tanto el sector público como privado tomen en cuentas estas iniciativas y permitan ser de referencia en el Ecuador y vayan replicándose o mejorando en el mediano y largo plazo.

Las dos primeras publicaciones han permitido alcanzar el **objetivo 1 y el objetivo 3** donde se trazan los escenarios al 2050 y se discuten los escenarios que están en función de las políticas actuales y se brindan las recomendaciones para ser más efectivos al momento que se inviertan recursos económicos en sistemas energéticos diversificados. El **objetivo 2** se cumple gracias al empleo de la cartografía disponible en los sitios oficiales de gobierno, a más de ello los datos han sido extraídos de estos mismos sitios los cuales fueron analizados, tratados, tabulados y evaluados con las herramientas como Matlab, EnergyPLAN, etc y finalmente presentados sus resultados en los artículos indicados. Los criterios de optimización y diseño fueron desarrollados con el análisis del módulo incorporado en la misma herramienta EnergyPLAN como se planteó en el **objetivo 4**, ello está relacionado a las publicaciones que están enfocadas al Ecuador y también las que permitieron compararnos con el caso español. El número de publicaciones que se desarrollaron en esta tesis doctoral sobrepasaron las expectativas que fueron únicamente de tres y se lograron 5 y permitieron obtener una riqueza de resultados fruto del análisis, inclusive comparar los desarrollos y planes a largo plazo con España.

1.6 Metodología empleada para trazar los escenarios al 2050.

En este trabajo se adoptan recomendaciones específicas de [92,173] en que los sistemas de energía sean inteligentes contrariamente al concepto de redes inteligentes, donde el énfasis se pone solo en una parte del sistema. La metodología para el análisis de las tecnologías en los sistemas de RE, y para evaluar las consecuencias técnicas y socioeconómicas dependen de un sistema tripartito. La fase de ingreso de datos y la tecnología que actualmente se dispone, la fase de ajustes en función de las nuevas políticas y estrategias adoptadas y necesarias a nivel local, nacional e internacional, desde un punto de vista técnico y asegurando la flexibilidad en las operaciones, para finalmente presentar los resultados tecnológicos y socioeconómicos. Por otro lado, es importante considerar los precios de los combustibles y CO₂ nacionales que históricamente y en la actualidad vienen dando dificultades a los gobiernos de turno por situaciones de producción petrolera y subsidios adoptados. Se considera al 2050 la eliminación de producción de energía mediante combustibles fósiles, implica un proceso de reducción en el tiempo y el incremento de las nuevas tecnologías.

Un modelo desarrollado, especialmente para el modelado de sistemas inteligentes de energía es EnergyPLAN, trabajado y desarrollado en la Universidad de Aalborg [174], especializado en la integración a gran escala de las energías renovables en el Sistema energético [92]. En la actualidad existen diversos modelos que nos permiten realizar una planificación energética. Excelentes revisiones se presentan en [1,27], optimas combinaciones de las energías renovables se efectúan en [175], inclusión del Sistema de transporte en el sector energético [152,176] y evitar la constante contaminación [177], de aquí se realizan las simulaciones de los sistemas de energía 100% renovable con el escenario de que la energía que se produzca en la ciudad de Cuenca supla a la creciente demanda según los planes de expansión trazados según usos del suelo [178] y para identificación de la configuración de subasta de Mercado más adecuada para electricidad en los sistemas de energía libre de fósiles [179]. Los datos de entrada típicos sugeridos de acuerdo a cada realidad de país o ciudad recomendados por [156] son demandas, RES, capacidades de la unidad de generación, capacidades de almacenamiento, consumo de combustible en el sector individual, transporte e industria, costos de combustible, inversión, operación y mantenimiento variable y fijo costos de diferentes unidades, factores de emisión de CO₂ de combustibles y diferentes Estrategias de regulación [177]. Si bien en la actualidad varios países entre ellos el Ecuador aún mantienen estas fuentes de generación mediante combustibles fósiles sobre todo para regular y equilibrar el sistema eléctrico, no es menos cierto que sus reservas se agotarán y desde ahora se debe planificar esta nueva era de la energía. Tampoco se pretende suspender de inmediato estas fuentes contaminantes, pero sí de manera progresiva hasta llegar al 100% de energía renovable al 2050.

La seguridad en el suministro de energía en la depende directamente de los recursos disponibles en la zona de estudio, en los casos de análisis tanto para el Ecuador como para la Ciudad de Cuenca se plantean en función de los datos disponibles para establecer el escenario base.

EnergyPLAN es una herramienta bien establecida para el modelado de sistemas de energía 100% renovables, dicho modelo se presenta en la Figura 29. Además, el modelo puede usarse para análisis técnicos, análisis de intercambio de mercado y estudios de viabilidad. Los resultados son los balances de energía y producciones anuales resultantes se presentan más adelante. El análisis de intercambio de cada planta se optimiza según las ganancias económicas de las empresas, incluidos los impuestos y los costos de emisión de CO₂. Para el análisis se utilizó EnergyPLAN, versión 15.0 de septiembre 2019.

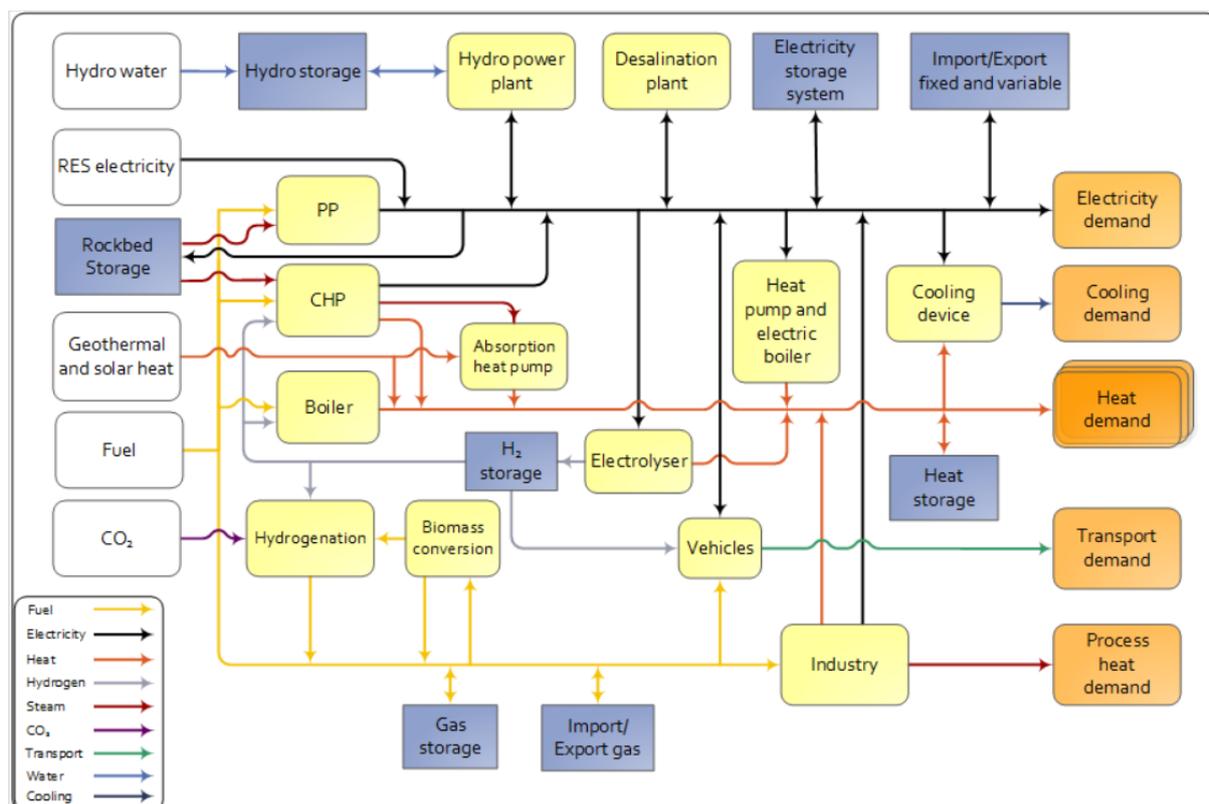


Figura 29. Modelo EnergyPLAN en la versión 15.0 [174].

1.7. Resultados y análisis del sistema energético ecuatoriano

Los resultados se dividen en el estudio de la viabilidad socioeconómica global del sistema al 2050, la viabilidad marginal considerando constante la producción hidroeléctrica y pasando a una transición de energías contaminantes por energías renovables viables para su explotación en el Ecuador. El escenario de partida presenta una potencia instalada de 11248MW y al 2050 con 20027MW.

Cabe señalar que el escenario se basa en un estado realista recomendado. Sin embargo, la posibilidad de explotar diversas fuentes de energía renovable es más significativa, la energía geotérmica actualmente no figura dentro del mix energético, pero muy bien puede ser explotada masivamente dado que se tiene el recurso [168]. Sin embargo, en nuestro escenario, se lo considera con un nivel de explotación que no supera el 15%. Del mismo modo, las mismas energías solar y eólica pueden ser explotadas masivamente, pero mantenemos sus rangos de explotación en niveles medidos, ver la Tabla 5 y Figura 30.

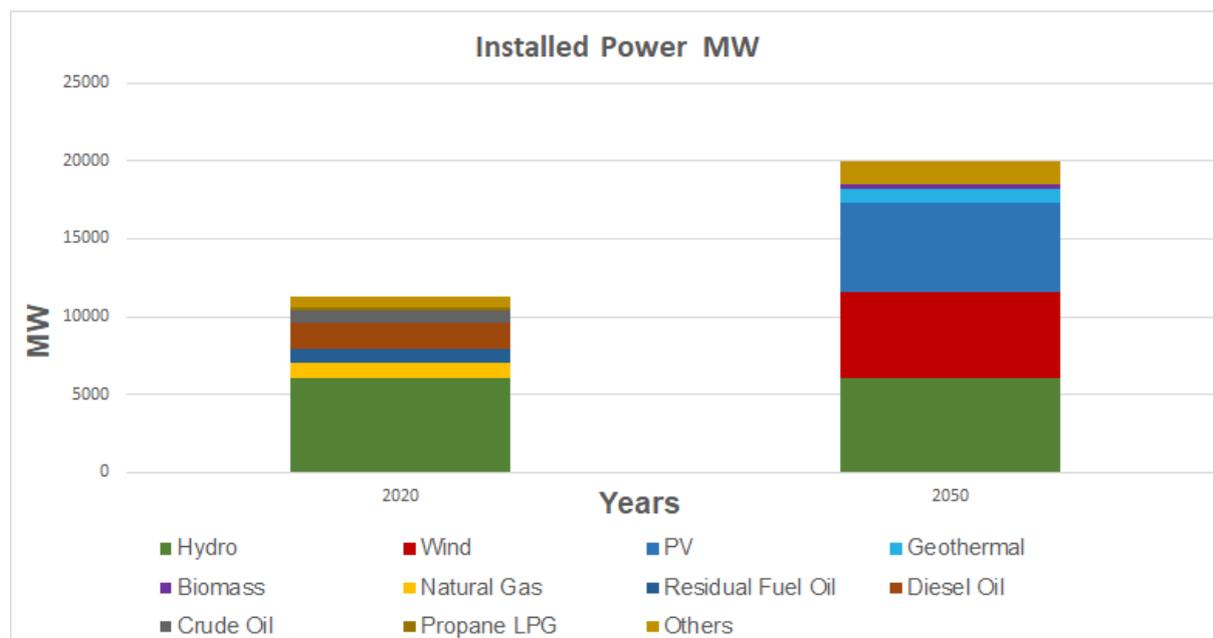


Figura 30. Potencia instalada por fuentes en el escenario de 2020 a 2050 en Ecuador

Tabla 5. Capacidad instalada actual y proyectada al 2050 en MW

Fuente	2020	2050
Hidroeléctrica	6020	6020
Eólica	10	5610
Fotovoltaica	10	5700
Geotérmica	2	903
Biomasa	6	301
Gas natural	1000	
Combustible residual	850	
Gasóleo	1700	
Petróleo crudo	850	

GLP propano	100	
Otros	700	1493.2

Teniendo en cuenta la recomendación de Dominković Dominik Franjo, et al. [9] indica la importancia de considerar la sensibilidad de la energía hidráulica y para efectos de analizar escenarios energéticos de largo plazo, recomienda mantener o reducir los porcentajes de producción de energía hidráulica hasta en un 50%. En nuestro caso, mantenemos el porcentaje de aporte hidráulico hasta 2050 como se muestra en la Tabla 5. La intención es diversificar la matriz energética con otras fuentes factibles de aprovechamiento, especialmente eólica y fotovoltaica.

En la Figura 31 y la Tabla 6 se puede observar la oferta total de energía primaria en 2020 y 2050. En 2050, todo el suministro de energía será 100% renovable, basado principalmente en energía hidráulica, eólica y fotovoltaica. Hay pequeños aportes de otras energías, pero no serán suficientes para sacar de operación a algunas de las mencionadas.

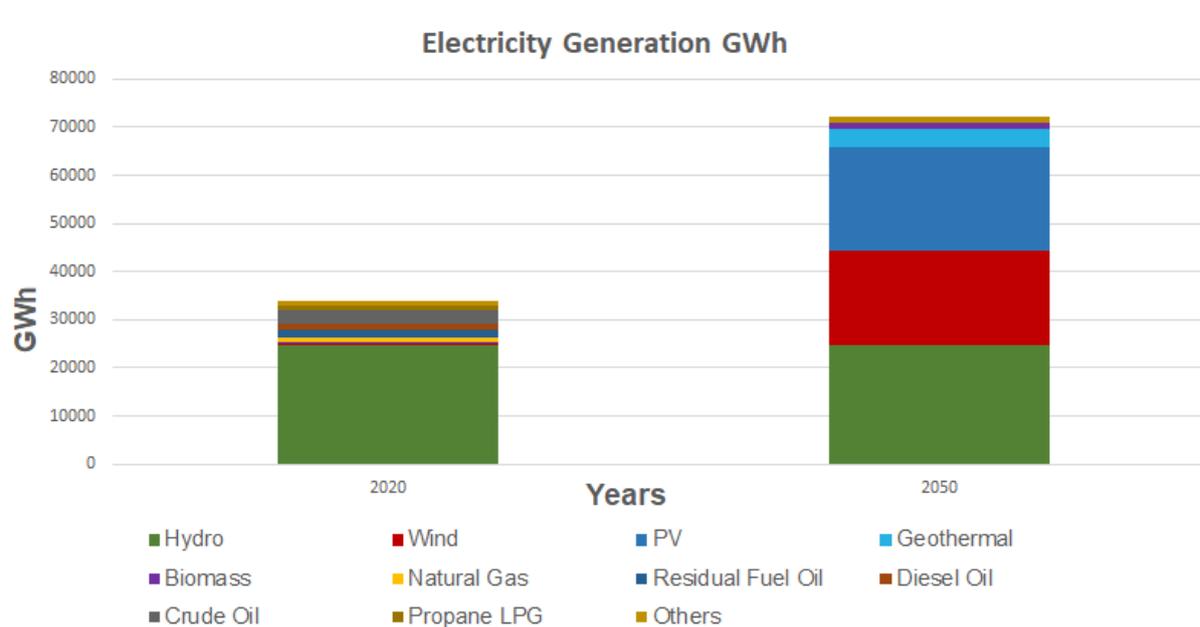


Figura 31. Suministro de energía primaria en el año 2020 y 2050 en Ecuador

Tabla 6. Estado actual vs escenario proyectado a 2050 100% renovable

Fuente	2020 (GWh)	2050 (GWh)
Hidroeléctrica	24887.3	24887.3
Viento	82.54	19554.3
fotovoltaica	37.25	21331.9
Geotérmica	15	3733
Biomasa	464.85	1244.3
Gas natural	877.73	
Combustible residual	1500	
Gasóleo	1300	
Petróleo crudo	2895.85	
GLP propano	1000	
Otros	700	1493.2

La Figura 32 muestra el mix de generación de energía 100% renovable para 2050.

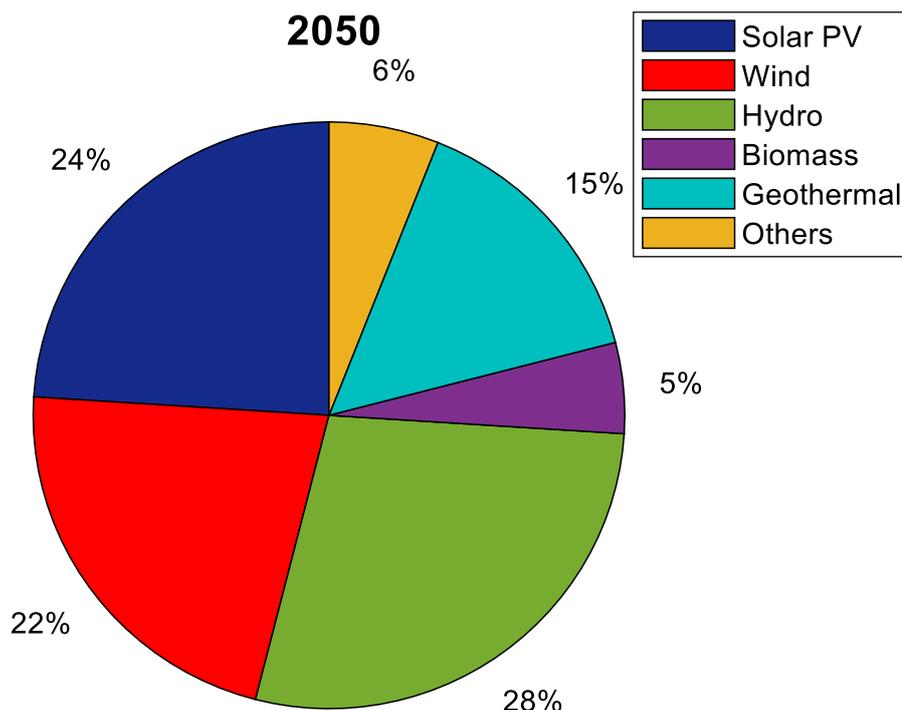


Figura 32. Mix de generación eléctrica renovable en el año 2050 [GWh]

Con estos resultados, el paso de una alta dependencia de los combustibles fósiles a la completa autosuficiencia a través de las energías renovables es el principal desafío de cada futuro gobierno, pero sobre todo se requiere de una agenda sostenida para llevar a cabo estas acciones, por lo que se necesitan a largo plazo. políticas a plazo para incentivar el desarrollo de nuevas tecnologías enfocadas en fuentes de energía limpias no convencionales como la energía solar, energía eólica, energía geotérmica, biomasa y mantener la infraestructura actual basada en energía hidroeléctrica. Es necesario contar con lineamientos efectivos que permitan proyectos de infraestructura acordes a un cambio de época en el Ecuador dentro del contexto sudamericano que también marcha a un ritmo acelerado como se ha observado en la literatura aquí descrita, garantizando el servicio de energía eléctrica con las más altas normas de calidad. Las energías renovables en el Ecuador comienzan a desarrollarse y prometen en los próximos años jugar un papel importante en la reducción de la generación y consumo de fuentes de energía con alto contenido de carbono. Una transición ordenada con una economía de energías renovables y bajas emisiones de carbono es clave para mitigar el cambio climático en Ecuador, donde los niveles de contaminación están fuera de los permitidos. Las políticas climáticas apegadas a las emisiones de CO₂ hoy en día ya no tienen caries y provocan rechazo en la población por los efectos adversos en la salud humana. Aumentar el uso de energías renovables desalentaría a aquellos que se resisten al

cambio y se mantienen al día de usar el consumo de combustibles fósiles y, por lo tanto, mitigar el carbono. Este estudio encuentra una relación de equilibrio positivo a largo plazo entre el consumo de energía renovable y el crecimiento económico. Esta investigación ya muestra que el sistema energético en Ecuador crecerá casi al doble para el 2050, de 33760GWh a 72244GWh. Esto implica tomar acciones contundentes por parte del gobierno central y mantener esa misma línea en futuros mandatos con el firme propósito de radicalizar el cambio en la matriz energética ecuatoriana. El fomento de las energías renovables dinamiza y estimula el crecimiento económico y sostenible de las naciones y el Ecuador con toda la riqueza energética disponible y que actualmente no está siendo aprovechada de manera efectiva, puede convertirse en un país vanguardista y muy próspero. Esto implica tomar acciones contundentes por parte del gobierno central y mantener esa misma línea en futuros mandatos con el firme propósito de radicalizar el cambio en la matriz energética ecuatoriana. El fomento de las energías renovables dinamiza y estimula el crecimiento económico y sostenible de las naciones y el Ecuador con toda la riqueza energética disponible y que actualmente no está siendo aprovechada de manera efectiva, puede convertirse en un país vanguardista y muy próspero. Esto implica tomar acciones contundentes por parte del gobierno central y mantener esa misma línea en futuros mandatos con el firme propósito de radicalizar el cambio en la matriz energética ecuatoriana. El fomento de las energías renovables dinamiza y estimula el crecimiento económico y sostenible de las naciones y el Ecuador con toda la riqueza energética disponible y que actualmente no está siendo aprovechada de manera efectiva, puede convertirse en un país vanguardista y muy próspero.

1.7.1. Análisis Económico.

En Ecuador, los subsidios a la electricidad y derivados del petróleo han sido parte de la política de Estado desde 1974, surgió como un sistema de compensación cuando estaba vigente la moneda sucre, particularmente en momentos en que el precio internacional del petróleo estaba en auge, lo que incrementó la explotación petrolera. para exportación. En esta situación, también se logró en el país un aumento sustancial en la recaudación de impuestos y un superávit económico. Esto permitió en primera instancia atender los requerimientos del transporte militar en los años siguientes, se aplicó al transporte público y finalmente al transporte privado. La finalidad de ampliar la política de subsidios fue reactivar la economía de los grupos sociales más pobres, además de aplicar también el subsidio al gas licuado de petróleo (GLP), manteniéndolo en el tiempo. Sin embargo, cuando la situación económica empezó a tambalearse por el cambio de sucres a dólares, fue entonces cuando el Estado

dejó de invertir en proyectos de generación eléctrica. Adicionalmente, el precio del gas importado fue superior al precio de los hidrocarburos a nivel nacional.

Desde la época del presidente Rafael Correa, a partir del 2007 el sector eléctrico ecuatoriano comenzó a renovarse, sobre todo porque la matriz energética pasó a incluir mayores porcentajes de energías renovables y diversificadas con políticas más claras y acciones concretas con la implementación de diferentes proyectos hidroeléctricos, eólicos y plantas de generación fotovoltaica principalmente. También se impulsaron políticas de eficiencia energética, entre las más importantes la adquisición de estufas eléctricas que permiten a los ciudadanos utilizar energía eléctrica en lugar de GLP [181], con el fin de eliminar el subsidio al gas de uso doméstico, y obtener ahorros en la Caja Fiscal de casi 2.000 millones de dólares anuales, de esta forma su recaudación estuvo destinada a incrementar la inversión pública en nuevos proyectos de electrificación. Después de este período correísta no ha habido grandes avances, sin embargo, el Banco Central del Ecuador afirma que entre 2007 y 2015 Ecuador ha gastado alrededor de 22 mil millones de dólares en subsidios a los combustibles fósiles. El principal combustible subsidiado ha sido el diésel, luego la gasolina extra, el GLP y la gasolina premium.

En consecuencia, la política basada en subsidios ha sido el mecanismo de los gobiernos del momento para mantener tranquila a la población que se acostumbró a esta dinámica económica de aparente aporte a la clase social más baja, esto se ha transformado en una carga fiscal y conlleva no poder impulsar con mayor determinación algunos otros proyectos eléctricos. En la actualidad aun estas fuentes son consideradas como fuentes de acceso para producir contaminación, son un virus dentro de la economía, fuentes que deben ser retiradas progresivamente, o en su razón, si el interés es apoyar a la población, el subsidio debe ser trasladado a los que lo hacen uso de los sistemas de energía eléctrica. De este modo,

En relación al análisis económico, se trazan tres escenarios como se muestra en la Tabla 7: conservador (S1), esperado (S2) y optimista (S3). El valor que más incide en los escenarios planteados es el costo de la tecnología, que está entre 40000 y 60000 millones de dólares. Valores que sin duda son considerables y ponen en jaque a futuros gobiernos que deberían impulsar estos proyectos, posiblemente en alianzas con otros países, pero que dejar de hacerlo puede resultar más costoso cuando los países europeos y asiáticos llevan tiempo modificando el mercado eléctrico. En base a las altas tasas de aporte de las energías renovables, incluyendo países dentro de América del Sur, les ha costado reemplazar estos grandes volúmenes de energía contaminante por energías limpias y hoy se encuentran en claro desarrollo.

Tabla 7. Trazado de escenarios para determinar el costo promedio de producción

Descripción	Escenarios		
	S1	S2	S3
Crecimiento medio de la demanda neta de electricidad hasta 2050 (%)	20	30	40
Costos totales hasta 2050(millones de dólares)	60000	50000	40000
Crecimiento promedio del servicio de electricidad disponible hasta 2050 (%)	15	20	25
Pérdidas de electricidad en sistemas de transmisión y distribución hasta 2050 (12,42% en 2017) (%)	12	15	18
Crecimiento de las ventas de vehículos eléctricos hasta 2050 (%)	20	15	15
Variación de GLP por el consumo de electricidad para calentar agua en el sector doméstico (%)	7	17	27
Nivel de penetración de estufas eléctricas.	8	12	18

A continuación, la Figura 33 muestra los escenarios propuestos en cuanto a la previsión del coste de producción de energía eléctrica. Se identifica que el impacto según los costos requeridos S1 es el más alto, provocando una tarifa alta hasta el 2032 por la mayor inversión realizada, la cual termina recayendo en la tarifa eléctrica. Sin embargo, en S1 se vuelve interesante cuando en años cercanos al 2050 los precios en los tres escenarios S1, S2, S3 tienden a mantenerse constantes en 18 centavos USD/MWh. Implica que una tarifa real como la especificada en este análisis está libre de subsidios y sobre todo requiere un cambio de tecnología 100% renovable y tener disponible el sistema operativo soportado por O&M. Desde el punto de vista de la transformación del sector eléctrico, tiene grandes repercusiones positivas en la sociedad, como tener personas sanas, generar empleo en una industria más limpia, la posibilidad de conservar la especie única en el planeta, entre otros beneficios. Esta

transformación abre un abanico de posibilidades de crecimiento en diferentes áreas productivas, dinamizando la economía del país.

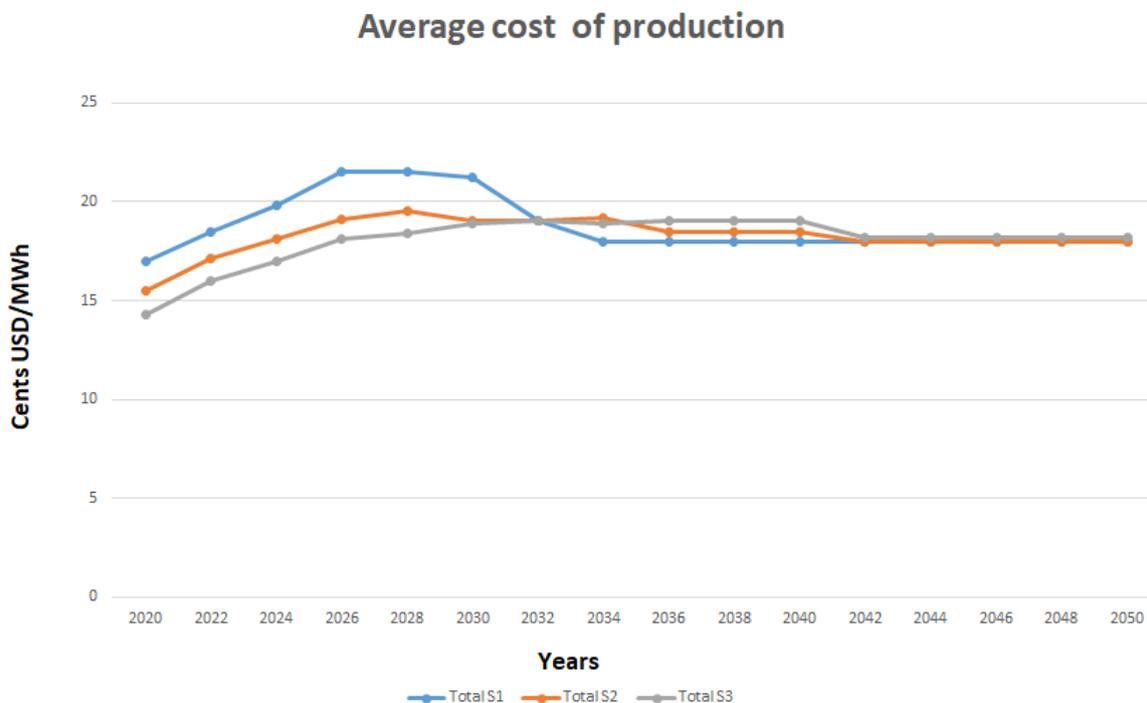


Figura 33. Coste medio de producción.

Bajo esta misma perspectiva de análisis se construye el escenario al 2050 para la Ciudad de Cuenca con 100% de energía renovable con los datos previamente mencionados en la sección anterior.

1.7.2. Resultados.

Los resultados se dividen en el estudio de viabilidad global socioeconómico del sistema al año 2050, la viabilidad marginal considerando constante la producción de hidráulica y yendo a una transición de energías contaminantes por las energías renovables viables para explotación en el entorno a la Ciudad de Cuenca. El escenario de partida presenta una potencia instalada de 1250MW y al 2050 con 2500MW.

Cabe indicar que el escenario está basado en un status realista recomendable. Sin embargo, la posibilidad de explotar varias fuentes de energía renovable es mayor y se puede evidenciar en la Figura 34 donde la energía geotérmica puede muy bien ser explotada masivamente dado que se tiene el recurso. En este escenario se considera un nivel de explotación que no supera el 15%. De igual forma, la misma energía solar y eólica pueden ser masivamente explotadas, pero mantenemos sus rangos de explotación a niveles mesurados.

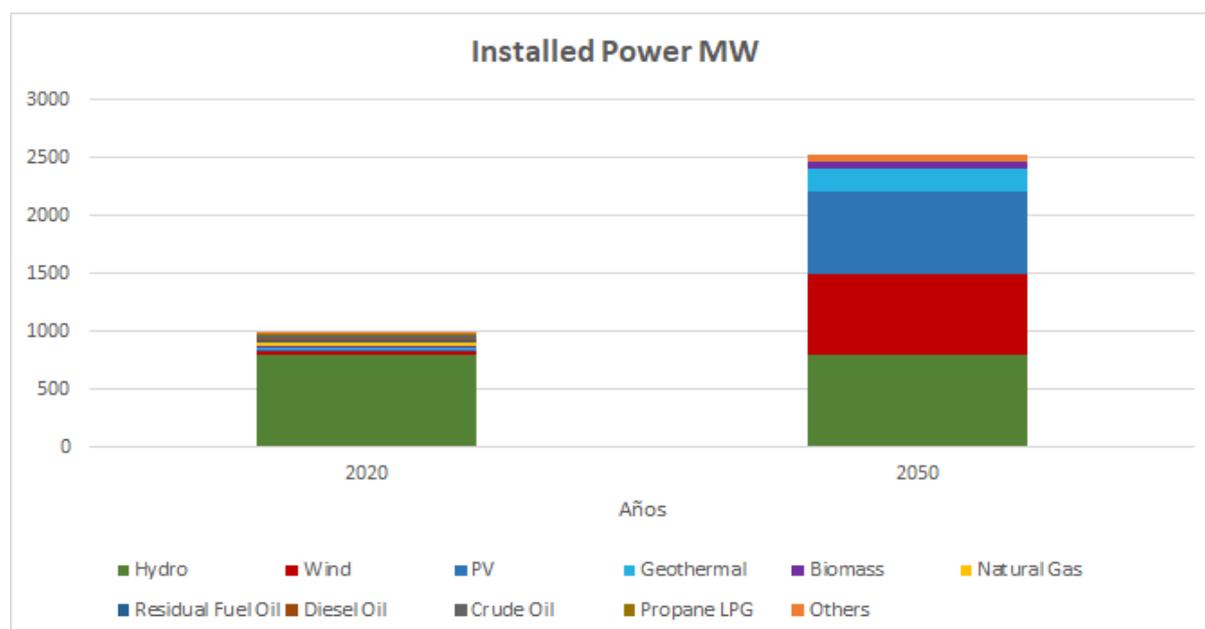


Figura 34. Capacidad instalada por fuente en los años 2020 a 2050.

Acogiendo la recomendación de Dominković Dominik Franjo, et al. [9] en analizar la sensibilidad al 50% del componente hidráulico existente con la finalidad de diversificar las fuentes de energía renovable PV. En nuestro caso procedimos a bajar el porcentaje de hidráulica en 25% en el mismo año 2050 compartiendo con todas las otras fuentes de diversificación, asumiendo que pueden volver épocas de estiaje en futuros años y resulte en bajos caudales, se tiene la Figura 35. Las otras fuentes de menores aportaciones consideramos también aumenten en función de sus propias potencialidades.

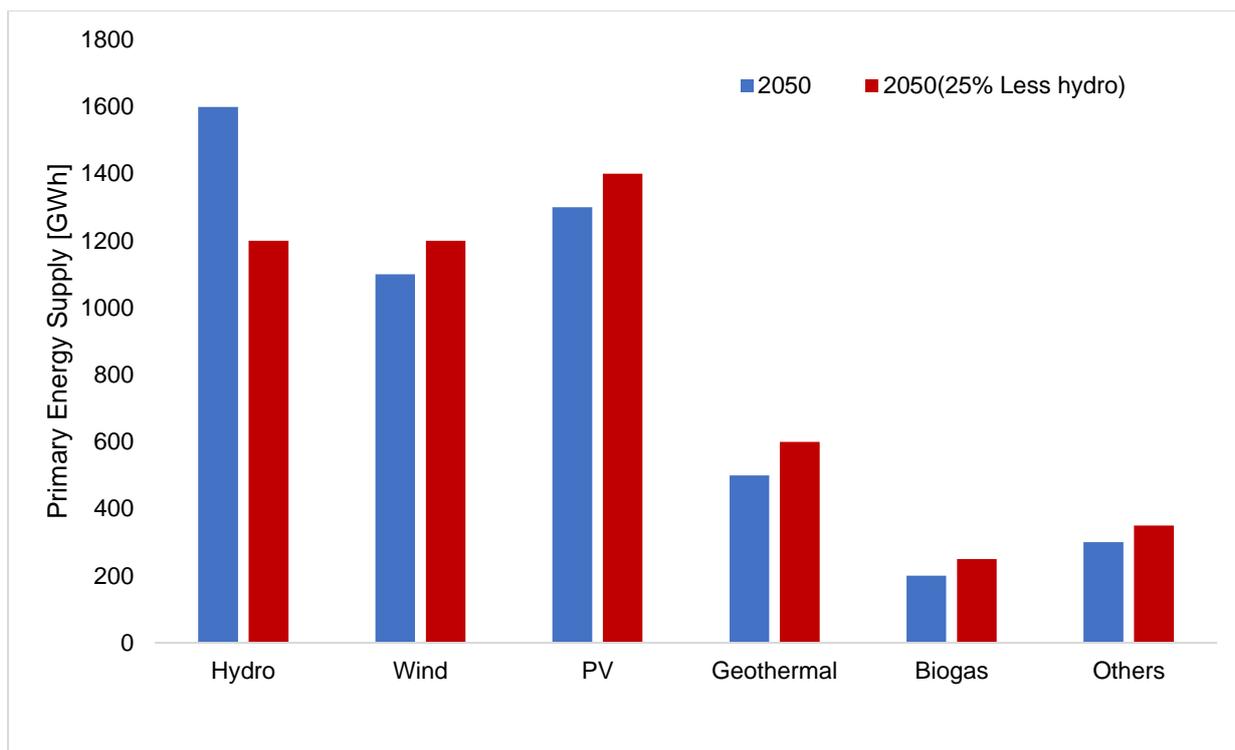


Figura 35. Generación eléctrica al 80% menos en hidroeléctrica.

En la Figura 36 el suministro total de energía primaria en el año 2020 y 2050 se puede ver. En el año 2050, todo el suministro de energía es 100% renovable basado principalmente en energía hidráulica, eólica y PV. Hay pequeñas aportaciones de otras energías, pero no serán suficientes para sacar de funcionamiento a alguna de las mencionadas.

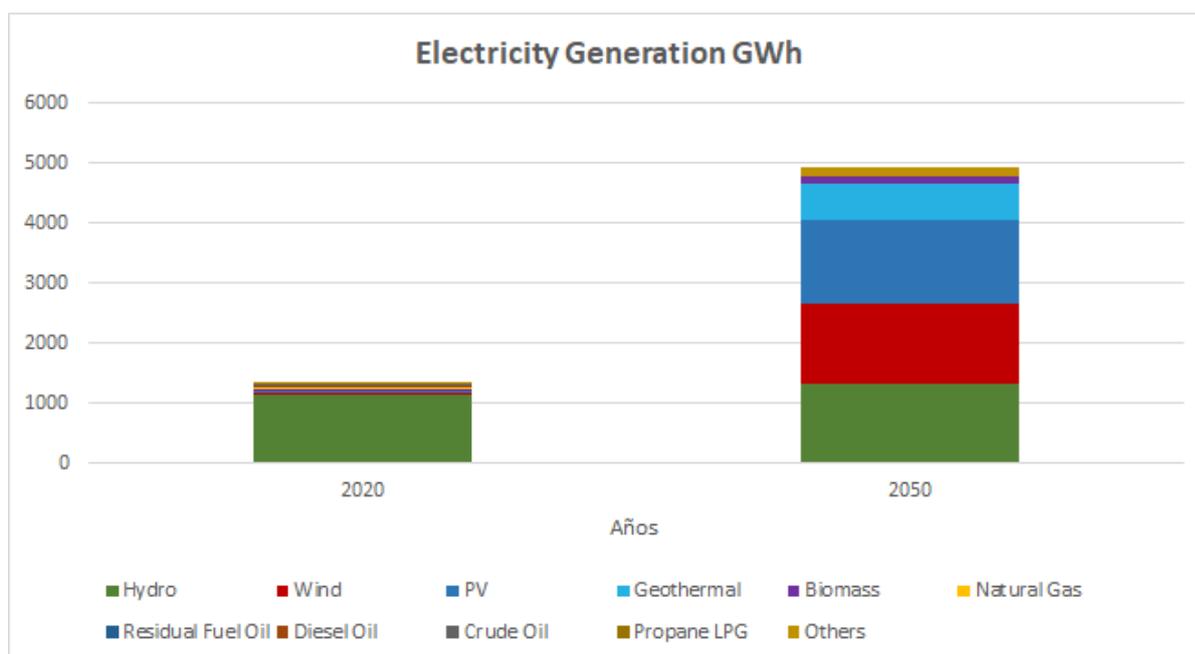


Figura 36. Energía primaria en los años 2020 y 2050

En el mix de generación de energía 100% renovable detallada por fuentes se puede observar en la Figura 37.

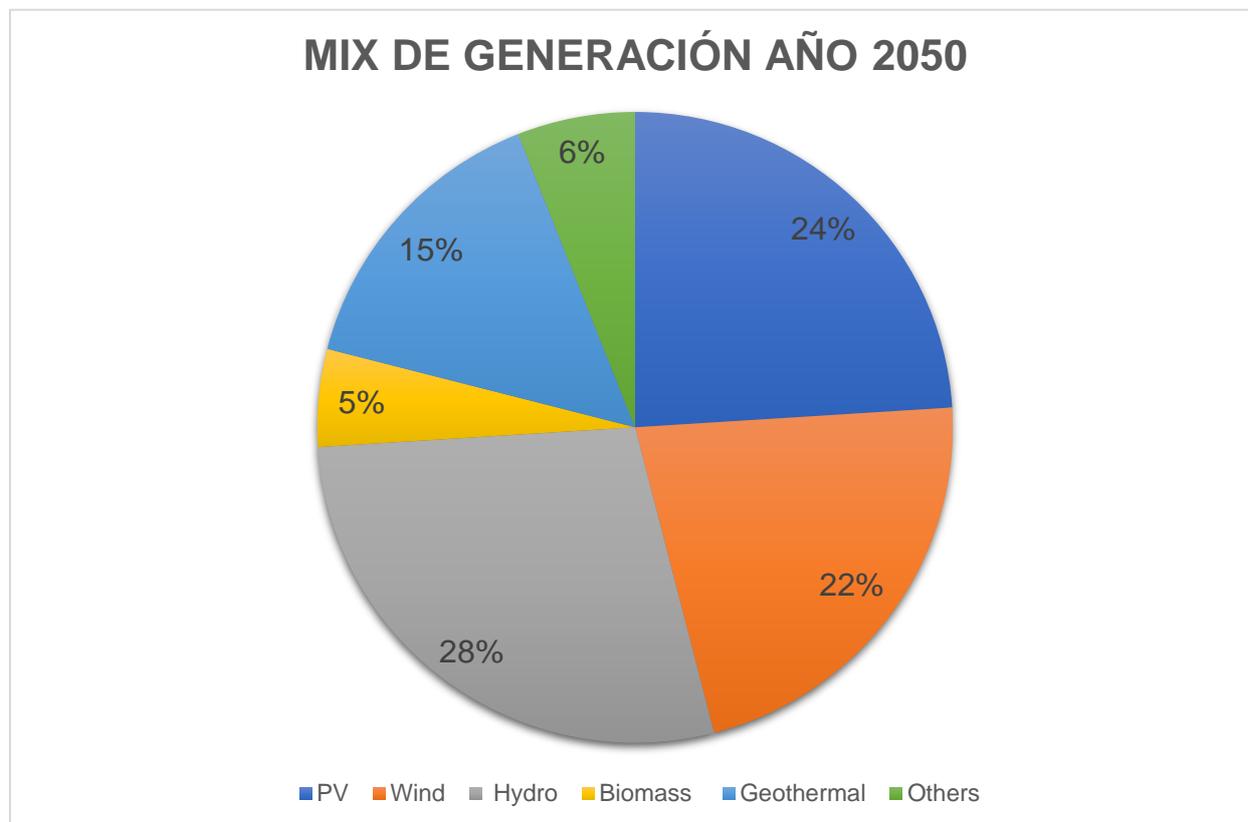


Figura 37. Mix de generación de energía renovable en el año 2050 [GWh]

1.8. Factor de impacto de las publicaciones.

A continuación, se presentan las publicaciones que forman parte esta tesis doctoral, incluye la revista, fecha y parámetros de calidad.

1.8.1. Analysis and proposal of energy planning and renewable energy plans in South America: Case study of Ecuador.

Revista: Renewable Energy

Fecha: 08 de Octubre de 2021

País: Reino Unido

SJR 2021: 1.88

Cuartil: Q1

H-Index : 210

1.8.2. Proposal of 100% renewable energy production for the City of Cuenca-Ecuador by 2050

Revista: Renewable Energy

Fecha: 15 de Febrero de 2021

País: Reino Unido

SJR 2021: 1.88

Cuartil: Q1

H-Index : 210

1.8.3. Renewable energy driven heat pumps decarbonization potential in existing residential buildings: Roadmap and case study of Spain

Revista: Energy

Fecha: 14 de Febrero de 2022

País: Reino Unido

SJR 2021: 2.04

Cuartil: Q1

H-Index : 212

1.8.4. Combined vehicle to building (V2B) and vehicle to home (V2H) strategy to increase electric vehicle market share

Revista: Energy

Fecha: 30 de Julio de 2022

País: Reino Unido

SJR 2021: 2.04

Cuartil: Q1

H-Index : 212

1.8.5. Modeling and Simulation of a Hybrid System of Solar Panels and Wind Turbines for the Supply of Autonomous Electrical Energy to Organic Architectures

Revista: Energies

Fecha: 07 de Septiembre de 2020

País: Suiza

SJR 2021: 0.65

Cuartil: Q1

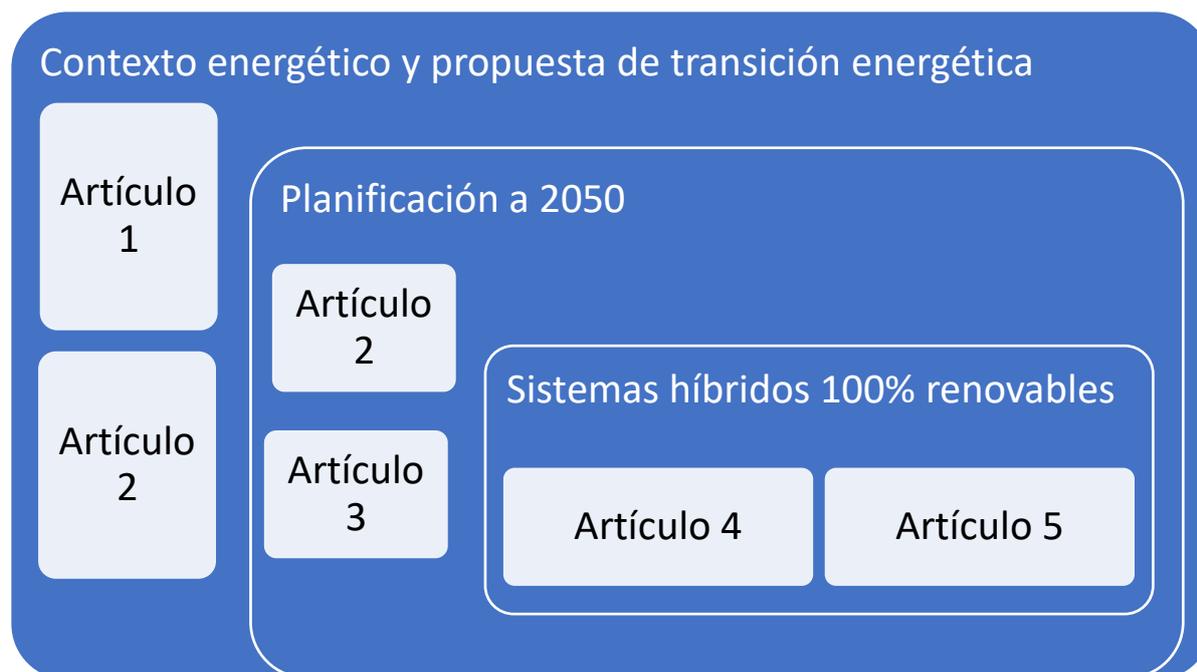
H-Index : 111

1.9. Resumen de contexto de los artículos científicos que conforman la Tesis

Doctoral

En el desarrollo de los artículos científicos que sirven de base para esta tesis existen numerosas narrativas promovidas por autores de renombre mundial sobre el camino deseado que podría tomar la transición energética en los distintos países. Aquellos sistemas energéticos que se han beneficiado del sistema actual naturalmente estarán deseosos que la transición se lleve a cabo de una manera que haga variar lo menos posible a los sistemas actuales y siempre tendrán motivaciones para intentar mantener latentes sus contribuciones basadas en combustibles fósiles; así mismo otros sistemas lo ven como una posibilidad para desarrollar sus propios sistemas industriales; otros lo verán como una apertura para la transformación política junto con los sistemas de energía; y los más entusiastas, verán la transición como una posibilidad de otorgar mayores oportunidades a las comunidades sobre la estructura de su sistema de energía.

En esta tesis se han analizado las posibilidades reales de incluir sistemas diversificados 100% renovables y el planteamiento es a largo plazo empleando el software EnergyPLAN como apoyo. Se analizó a profundidad las fortalezas y debilidades de otros sistemas de energía a nivel mundial y se ha planteado un sistema moderno que logre cumplir las expectativas de crecimiento de la demanda, se sintonice con las políticas estatales lo mayor posible pero que también ofrezca flexibilidad en los procesos para lograr cumplir hasta 2050, siendo conscientes de las necesidades de inversión económica para cumplir estas expectativas. La incorporación de sistemas de energía renovable en el Ecuador es clave, no solo en la actualidad sino a futuro, por ello es necesario analizar su impacto desde lo macro y lo micro como se ha explicado anteriormente. Para una mayor comprensión se establece a continuación el esquema que relacionan las publicaciones con los objetivos de la tesis doctoral.



Publicación	Contexto dentro del marco general de la tesis doctoral	Objetivo a cumplir	Validación y resultados
Artículo científico 1 "Analysis and proposal of energy planning and renewable energy plans in South America: Case study of Ecuador."	Se analiza el contexto energético de América del Sur y se evalúa el nivel de desarrollo del mercado energético ecuatoriano.	Se realiza la propuesta de transición energética a largo plazo (2050) en el marco de desarrollo de políticas energéticas que impulsen a transformar un sistema diversificado y 100% renovable.	Se evalúa el impacto del sistema energético ecuatoriano al 2050 con el soporte de la herramienta EnergyPLAN

<p>Artículo científico 2 “Proposal of 100% renewable energy production for the City of Cuenca-Ecuador by 2050.”</p>	<p>Se analiza el contexto energético ecuatoriano y se evalúa el nivel de desarrollo de la ciudad de Cuenca.</p>	<p>Se realiza la propuesta de transición energética a largo plazo (2050) a nivel de ciudades incluyendo nuevas tecnologías 100% renovable.</p>	<p>Se evalúa el impacto del sistema energético ecuatoriano al 2050 con el soporte de la herramienta EnergyPLAN</p>
<p>Artículo científico 3 “Renewable energy driven heat pumps decarbonization potential in existing residential buildings: Roadmap and case study of Spain”</p>	<p>Se analiza el contexto energético español y sus vías de descarbonización el mismo que servirá de referencia para fomentar la diversificación del mix energético ecuatoriano.</p>	<p>Se realiza la propuesta de transición energética a largo plazo (2050) empleando nuevas tecnologías con alta participación de energía 100% renovable</p>	<p>Se evalúa el impacto del sistema energético español al 2050 con el soporte de la herramienta EnergyPLAN</p>
<p>Artículo científico 4 “Combined vehicle to building (V2B) and vehicle to home (V2H) strategy to increase electric vehicle market share”</p>	<p>Se analizan nuevas estrategias para garantizar el servicio de energía eléctrica, empleando técnicas que integran al sistema eléctrico y la transportación y aumentar considerablemente la participación de energía renovable.</p>	<p>Se consolida la transición energética a largo plazo (2050) empleando técnicas que elevan la participación de energía 100% renovable y sirven de referencia para aplicar al sistema energético ecuatoriano</p>	<p>Se incluyen nuevas estrategias de desarrollo energético que permite evaluar el grado de incidencia de los sistemas de almacenamiento en la red eléctrica pública y las edificaciones.</p>
<p>Artículo científico 5 “Modeling and Simulation of a Hybrid System of Solar Panels and Wind Turbines for the Supply of Autonomous Electrical Energy to Organic Architectures”</p>	<p>Se analiza la operación de los sistemas de energía renovable a menor escala.</p>	<p>Se analizan las aportaciones de energía 100% renovable en infraestructuras residenciales</p>	<p>Se analiza el impacto de las pequeñas infraestructuras de energía 100% renovable en localidades rurales.</p>

2. OBJETIVOS

Los objetivos alcanzar en la presente tesis doctoral son:

2.1. Evaluar el escenario base referente al sistema eléctrico ecuatoriano y trazar el escenario energético diversificado para 2050 con el apoyo de EnergyPLAN.

Se pretende en este objetivo hacer una revisión general del año de referencia, se emplearán datos específicos e ilustraciones proporcionadas de forma pública por el CENACE y otros organismos estatales, los mismos que serán analizados y se ingresarán en el software especializado EnergyPLAN para realizar las simulaciones. Con el módulo de optimización de la herramienta de apoyo se aplicarán criterios de eficiencia energética con el propósito de que en horas pico la demanda se aplane y no se requiera en esos periodos de tiempo una mayor generación eléctrica o a su vez que los sistemas de respaldo tiendan agotarse sustancialmente lo cual reduce la seguridad energética en la Ciudad de Cuenca. Los escenarios a largo plazo son trazados con el apoyo de la herramienta EnergyPLAN que se basa en el concepto de energía inteligente, para ello entre otros aspectos se contempla el crecimiento de la población al 2050 cerca de 980,709 habitantes según el informe del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) [180]. Ello implica que a más de sustituir las energías renovables por combustibles fósiles es necesario cubrir la demanda creciente. Con EnergyPLAN es posible optimizar el sistema de energía gracias al módulo de optimización disponible. En la realidad, es necesario trazar planes de eficiencia energética mucho más agresivos para evitar altos porcentajes de consumo de electricidad en horas pico y más bien generar incentivos o crear tarifas diferenciadas que motiven al consumidor a utilizar la energía en otras horas del día.

2.2. Aplicar y desarrollar la investigación en base a mapas y usos del suelo, áreas de influencia de alimentación de electricidad, estudios de mapas socioeconómicos.

La ciudad de Cuenca dispone de una cartografía bastante importante sobre los usos del suelo urbano y rural disponibles de forma abierta en el portal de la Municipalidad de Cuenca. Adicionalmente se dispone de mapas de velocidades de viento, radiación solar, precipitaciones, entre otros que permite evaluar el potencial energético renovable disponible en sitio y puede ser aprovechado para la generación de energía eléctrica bajo un análisis de

micro áreas y permitirá verificar que los resultados que se obtienen mediante el EnergyPLAN sobre todo con capacidades de generación pueden ser realistas y evitar sobredimensionamientos que a la larga repercute en la necesidad de mayores inversiones.

2.3. Discutir los escenarios futuros de la generación diversificada de energía.

La base estadística lo más actualizada posible es de alta importancia para realizar las proyecciones a largo plazo. De hecho, EnergyPLAN requiere que se defina el año base, ese es uno de los requisitos básicos para emplear la herramienta, así fue concebido el software desde sus primeras versiones y nació con ese propósito de ayudar a trazar sistemas de energía a largo plazo, por esta razón uno de los fundamentos es que no se puede realizar simulaciones en el año base y se requiere de un horizonte de tiempo para hacer las corridas y presentar los resultados en forma de curvas tanto de demanda, de combinaciones de energía renovable, almacenamiento, etc. Luego de evaluar estas curvas se pueden presentar los escenarios en barras donde se muestran los niveles de crecimiento de determinadas fuentes renovables, mientras tanto la energía dependiente de combustibles fósiles tiende a reducirse y en el fin del horizonte se tornan cero, logrando de esta manera un sistema de energía 100% renovable a largo plazo y garantizando la continuidad del servicio eléctrico.

2.4. Aplicar criterios de optimización y diseño con el soporte de EnergyPLAN para que el sistema sea estructurado de la manera más adecuada.

El estudio de la optimización se ha vuelto muy necesario en distintas áreas del conocimiento. Particularmente en la rama de la electricidad y la planificación energética cumple un papel importante para evitar comprometer recursos innecesarios que en muchos de los casos son de alto valor económico. Varios softwares son empleados para planificar mercados energéticos, entre ellos están: INFORSE, MesapPlaNet, LEAP y EnergyPLAN. Si consideramos objetivamente, el mundo tecnológico actual en el que nos encontramos, el desarrollo de este ámbito se lleva en gran medida a través del uso de herramientas informáticas que permitan simplificar las operaciones matemáticas o largas iteraciones. El conocimiento teórico de esta disciplina permite tener los fundamentos básicos necesarios para un desarrollo e investigación de mayor profundidad. Esta investigación puede verse facilitada con el uso de software informático y precisamente en esta tesis se decidió emplear EnergyPLAN debido a que es un software ampliamente

utilizado por los investigadores a nivel mundial y sus nuevas versiones han traído mayores prestaciones y mucho más sencillo de utilizar.

2.5. Realizar al menos tres publicaciones de relevancia e indexadas en bases de datos científicas.

Este objetivo se persiguió desde su inicio de arrancar con las investigaciones en el Ecuador y puntualmente en la ciudad de Cuenca. Sin embargo, la investigación no se limitó y se logró obtener cinco publicaciones, todas en alto impacto a más de otros productos como un libro y 3 artículos de Congresos que se indexan en SCOPUS. En realidad, la producción fue mucho más allá de lo planteado y la mayor satisfacción es haber brindado nuevas alternativas de desarrollo tanto a Sudamérica, Ecuador y la Ciudad de Cuenca. A más de ello se logró comprobar que las energías renovables son la alternativa más adecuada contra el calentamiento global y se comprobó con las dos últimas investigaciones que se efectuaron en España. También en aplicaciones como las edificaciones orgánicas se identifica que las energías renovables pueden ser aprovechadas para electrificar zonas remotas y evitar continuar utilizando los costosos combustibles fósiles que además de ser perjudiciales para la salud y ser contaminantes se encarecen más al tener que transportar hacia las comunidades alejadas.

3. PUBLICACIONES QUE CONFORMAN LA TESIS DOCTORAL

La presente tesis de doctorado se ha configurado a partir de un trabajo profundo y riguroso de investigación en el campo de la planificación energética y análisis técnico y económico que permita mediante las metodologías aplicadas en los artículos publicados se tracen las hojas de ruta para que los países, ciudades o territorios más pequeños transformen sus sistemas de energía en otros más amigables con el medio ambiente con 100% de energía renovable y dejar atrás los combustibles fósiles que se están agotando. Estos planteamientos no han resultado fáciles, en países como Ecuador se carece de investigaciones en revistas de alto impacto y en sus inicios el estructurar desde cero ha sido una desventaja grande y ha conllevado más tiempo de lo previsto, pero por otra parte fue de gran satisfacción crear las primeras investigaciones que transformen al Ecuador y la Ciudad de Cuenca en territorios más saludables y desarrollados de acuerdo a la Constitución, leyes y planes de desarrollo.

En cada uno de los artículos se ha discutido ampliamente los aspectos medulares de la tesis, entre ellos la transición energética, la seguridad, la gestión de la demanda acompañando de análisis económico y de desarrollo humano. Se ha recalado en cada publicación la necesidad de proteger las fuentes de empleo durante la transición energética, es por ello que se considera que los cambios deben ser progresivos, con una socialización de los procesos y capacitación al personal involucrado con el sector eléctrico. Los artículos científicos de alto impacto que se incluyen en este apartado abordan de manera minuciosa la problemática, se soporta en un marco teórico, se presenta la metodología de investigación y los resultados de investigación se detallan y se discuten. En cada una de las investigaciones se refrenda el desarrollo de las competencias investigativas, se discute el orden establecido y se plantean acciones de mejora que parten desde el aspecto científico, para interactuar con la comunidad académica nacional e internacional e incidir en los procesos y fenómenos sociales que se estudió. Por otro lado, es de reconocer que también los otros autores de las publicaciones también han colaborado con sus esfuerzos intelectuales a ofrecer sugerencias prácticas y recomendaciones metodológicas para finalmente logren publicarse en revistas de alto impacto. En esta área de estudio hay otros autores de distintas partes del mundo que también han sido referentes para la elaboración de los artículos, podemos encontrar los trabajos de Henrik Lund [111], Poul Østergaard [181] Connolly [11] que ofrecen sus reflexiones sobre el rumbo que deben tomar los países y sus ciudades para transformar sus sistemas de energía en 100% renovables a largo plazo.

3.1. Publicación 1: Analysis and proposal of energy planning and renewable energy plans in South America: Case study of Ecuador

Resumen

Esta investigación evalúa el Sistema Eléctrico Sudamericano y sus características relacionadas con la inclusión de las energías renovables en los procesos de transición para dejar atrás los sistemas energéticos basados en combustibles fósiles. El análisis del caso ecuatoriano es un enfoque novedoso porque en primera instancia su matriz se basó en el uso de combustibles fósiles, con nefastas consecuencias de contaminación, especialmente en la Amazonía. Crece el interés en términos de renovación económica, legal y social, dejando atrás los sistemas petroleros que se agotan rápidamente y que han sido una fuente contaminante. Esta investigación presenta un análisis novedoso del estado del sistema eléctrico ecuatoriano y luego de un análisis flexible en Energyplan, propone las fuentes renovables de energía factibles y sus participaciones para garantizar la nueva demanda en el 2050 y un sistema de generación eléctrica ecuatoriano 100% renovable, teniendo un impacto positivo en lo monetario, aumentando los niveles de producción y mejorando la calidad de vida de sus ciudadanos. Se espera que la potencia instalada para 2050 sea de 20 GW y requerirá una producción anual de 72,24 TWh. La hidroeléctrica (6,02 GW), la solar fotovoltaica (5,7 GW) y la eólica (5,61 GW) tendrán el mayor impacto en la matriz energética ecuatoriana. El costo promedio de producción de 1 MWh será de aproximadamente 18 centavos de dólar.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.09.126>

3.2. Publicación 2: Proposal of 100% renewable energy production for the City of Cuenca- Ecuador by 2050.

Resumen.

Esta investigación presenta un escenario para un sistema de energía 100% renovable para la Ciudad de Cuenca en Ecuador, con una proyección al año 2050. El proceso de transición inicia con el cambio de la matriz productiva del Ecuador con reformas desde el punto de vista legal y de estrategias empresariales al año 2050. Los avances en materia energética dependen de la incertidumbre política tanto a nivel país (Ecuador) como local (Cuenca). Es posible dejar de utilizar combustibles fósiles gracias a la implementación de nuevas fuentes de energía renovables, potencialmente ricas en el Suroccidente ecuatoriano y evidenciadas en el Plan Nacional Toda la Vida. Actualmente, hay evidencia de cambios acelerados en la normativa legal, incluyendo la construcción de varias plantas de generación de energía eléctrica. Este cambio en la matriz productiva nacional implica, entre otros, la implementación de vehículos eléctricos, el cambio de cocinas a gas natural por eléctricas, y la implementación del tranvía “4 Ríos” que cruza la ciudad de Norte-Sur y Sur-Norte, incorporando generación de energía 100% renovable, que proporcionaría calor en zonas urbanas y urbano marginales. Todos los sistemas creados en el Ecuador, como calefacción, refrigeración, transporte, seguridad, etc., permitirán una penetración creciente de las energías renovables hasta llegar al 100%.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.067>

3.3. Publicación 3: Modeling and Simulation of a Hybrid System of Solar Panels and Wind Turbines for the Supply of Autonomous Electrical Energy to Organic Architectures

Resumen.

En esta investigación se realiza el modelado, simulación y análisis de las ecuaciones de conversión de energía que describen el comportamiento de un sistema híbrido fotovoltaico y aerogenerador que suministra energía eléctrica a una arquitectura orgánica promedio. Las construcciones orgánicas tienen una filosofía que busca comprender e integrarse al sitio, aprovechando las potencialidades naturales y sus recursos de los alrededores para que formen parte de una composición unificada y correlacionada. Las habitaciones de estos edificios están diseñadas como un frijol, inspiradas en el útero de una madre y su hijo que están cómodos, en reposo y vivos. Nos queda la tarea de difundir esta investigación para integrar su potencial energético del entorno y transformarlo en energía eléctrica autónoma. En este artículo, se desarrolló y codificó un modelo numérico basado en las ecuaciones fundamentales, y los resultados se compararon con datos experimentales con un sistema real tipo avión ubicado en un área remota de Ecuador. El modelo está destinado a ser utilizado como una herramienta de optimización y diseño para este tipo de sistemas híbridos aplicados a construcciones orgánicas. Después de un análisis de errores, se determinó que este modelo predecía resultados bastante interesantes en comparación con los datos experimentales en diversas condiciones. Es importante indicar que este análisis se ha realizado para que en el futuro estos sistemas de generación eléctrica puedan ser explotados y aplicados de manera más eficiente en zonas alejadas de la red eléctrica pública.

DOI: <https://doi.org/10.3390/en13184649>

3.4. Publicación 4: Renewable energy driven heat pumps decarbonization potential in existing residential buildings: Roadmap and case study of Spain

Resumen.

Los edificios son uno de los consumidores de energía más importantes del mundo y los requisitos de calefacción generalmente se logran utilizando combustibles fósiles. Esta situación supone un riesgo para la consecución de los objetivos de reducción de emisiones en edificios existentes y electrificación, basada en bombas de calor. Es una de las soluciones más factibles para lograr los objetivos de reducción de emisiones. La investigación actual analiza el potencial de descarbonización de las bombas de calor y utiliza como novedoso caso de estudio el escenario español, donde el 8,5% de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera proceden del sector residencial, con el 66% del consumo energético asociado a refrigeración y calefacción. Utilizando EnergyPlan se analiza el potencial de descarbonización mediante bombas de calor o sistemas de calefacción en edificios existentes e instalando esta tecnología en nuevos edificios. Los resultados muestran una reducción del 8,43% en las emisiones totales y prueban que la metodología propuesta puede extenderse a nivel mundial como una solución para reducir las emisiones y mejorar la eficiencia energética en los sistemas de calefacción existentes en los edificios. Además, la integración de sistemas eléctricos de climatización permite aumentar la cuota de electricidad renovable en la red o la integración de vehículos eléctricos, entre otros.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123481>

3.5. Publicación 5: Combined vehicle to building (V2B) and vehicle to home (V2H) strategy to increase electric vehicle market share

Resumen.

Los edificios son uno de los consumidores de energía más importantes en los países de economía moderna. El uso masivo de vehículos eléctricos podría ayudar a descarbonizar la economía mediante el uso de electricidad producida con energías renovables. El uso combinado de Vehicle to Grid (V2G), Vehicle to Home (V2H) y Vehicle to Building (V2B) es una de las estrategias para aumentar el número de vehículos eléctricos, asegurar un mejor acoplamiento entre la generación y el consumo de energía, reduciendo el pico de demanda y aumentar la eficiencia energética mundial. Esta investigación presenta un enfoque novedoso de uso combinado de V2H y V2B que se puede aplicar en diferentes escenarios, como cuando los trabajadores de la construcción poseen vehículos eléctricos, flotas de automóviles compartidos de la empresa o arrendamiento, entre otros. La energía recargada en los hogares de los trabajadores durante las horas de la noche se entrega en el edificio durante las horas de trabajo diarias, lo que reduce la demanda máxima, reduce la intensidad de carbono y ahorra costos de energía. Los resultados muestran que la metodología es factible y puede extenderse a otros casos y contribuir en gran medida a mejorar la eficiencia energética, reducir los picos de demanda en los edificios y aumentar la penetración de los vehículos eléctricos en el transporte a los lugares de trabajo.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121608>

4. CONCLUSIONES

Esta investigación analizó cómo los sistemas de energías renovables están afectando al mundo y, a su vez, destaca la transición en la que se están enfocando los países sudamericanos para pasar de un sistema de producción de electricidad basado en combustibles fósiles a un sistema 100% extraíble. La literatura analizó las estrategias adoptadas por los países sudamericanos y a partir de ello se profundizó en el caso de Ecuador, que ha reorganizado sus sistemas energéticos a partir de las malas experiencias vividas por la contaminación y la reducción de la producción petrolera. En este artículo se presenta una ruta de transformación flexible y adaptable de la matriz energética al 2050, considerando en el tiempo un cambio paulatino pero visionario a partir de la estructura organizacional actualmente en marcha.

Se establece un análisis bastante completo correspondiente a la estructura del sistema eléctrico ecuatoriano como eslabón dentro de América del Sur, según el ritmo de desarrollo de la región. Aprovechar que el marco regulatorio ecuatoriano ofrece posibilidades para acelerar esta transición, también implica aprovechar los recursos disponibles en base a energías renovables con resultados concretos, en lo cual se destaca que ya se están implementando varios proyectos a nivel nacional. El escenario a construir en 2050 garantiza una mayor calidad de vida de los ciudadanos, dinamiza la economía y el sistema energético en su conjunto dejará de ser abastecido por derivados del petróleo, ya que es un modelo energético 100% extraíble y realizable, es flexible dadas las condiciones favorables que reúne y que puede ser explotado sin grandes dificultades desde el punto de vista técnico. Los aspectos políticos no están incluidos en este artículo, por lo que se supone que las disposiciones de las leyes y planes de desarrollo se cumplirán en el tiempo. Desde un punto de vista metodológico, podemos concluir que el diseño de futuros sistemas energéticos 100% renovables es un proceso bastante complejo en el ámbito socioeconómico. Por un lado, hay una variedad de pasos que deben tomarse para lograr esto. Por otro lado, cada medida que se tome debe estar bien determinada y no afectar radicalmente el estilo de vida de la población. El escenario 2050 propuesto para Ecuador se basa en tres fuentes primarias de energía renovable como la hidroeléctrica existente, energías aprovechables como la solar y la eólica, que ahora han despertado el interés de las instituciones del gobierno nacional en explotarlas. También habrá otras fuentes de energía como el biogás y la geotermia que, si bien en el escenario final no las consideramos de influencia directa por los altos costos que conllevan, sin embargo, en un momento dado despegarán. y permitir una mayor diversificación del sistema energético.

En resumen, Ecuador y toda Sudamérica se están moviendo a una posición relativamente buena debido a la combinación de tecnologías de generación. Sin embargo, es importante considerar suficientes incentivos para ubicar suficientes plantas de generación en territorios adecuados. De no ser así, aumentaría el riesgo de que América del Sur no pueda contribuir de manera efectiva al Acuerdo de París. Nuevas investigaciones podrían abordar esta situación en profundidad y obtener una mejor comprensión de los efectos de la política climática energética regional.

Pasar a un sistema de energía 100% renovable requiere de políticas más fuertes que impulsen a Sudamérica hacia la descarbonización, particularmente el tema económico para muchos países se vuelve bastante complicado cuando históricamente ha dependido del petróleo y Ecuador está en esa línea. Sin embargo, lograr una transición ordenada con acciones claras traerá importantes beneficios como la creación de fuentes de empleo directas e indirectas, la promoción del turismo y la mejora de la calidad del aire en áreas urbanas y rurales, entre otros.

Además de que las ciudades cuenten con sistemas de energía eléctrica limpia, abre la posibilidad de planificar mejor el territorio y tomar conciencia de que es posible transformarlas en ciudades inteligentes según la propuesta del Libro Blanco de Territorios Digitales en Ecuador, lo que abre un abanico de oportunidades en el sector no solo eléctrico sino también de comunicaciones. Una motivación más para transformar los sistemas contaminantes por otros más amigables con el medio ambiente y los ciudadanos, los sistemas eléctricos tienen incluso una mayor posibilidad de control e integración con los sistemas de comunicación frente a los sistemas basados en combustibles fósiles.

Si bien desde el punto de generación de energía es posible lograr un sistema 100% renovable, también es imperativo implementar estrategias de eficiencia energética ya que de poco ayudaría si tenemos una generación limpia y una demanda que contamina, por lo que una verdadera transformación del sistema energético es necesario que está apegado a los planes nacionales de desarrollo que sí contemplan acciones de eficiencia.

Por otra parte, el escenario construido al 2050 teniendo como centro de transformación a la Ciudad de Cuenca, se basa en un modelo 100% de energía renovable dadas las condiciones favorables que reúne y que pueden ser explotadas sin mayor dificultad desde un punto de vista técnico. Aspectos políticos no se incluyen en este artículo por lo que se asume que se cumplirá a lo largo del tiempo lo establecido en las leyes y planes de desarrollo local y nacional.

Desde un punto de vista de la metodología, la conclusión es que el diseño de futuros sistemas de energía 100% renovable es un proceso bastante complejo en lo socioeconómico. Por una

parte, hay una variedad de medidas que se deben adoptar con la finalidad de alcanzar el objetivo, por otro lado, cada medida que se tome a nivel nacional o local debe estar bien determinada y no afecte radicalmente el estilo de vida de la población.

El escenario al 2050 planteado para la Ciudad de Cuenca está basado en tres principales fuentes de energía renovables como son la existente energía hidráulica, energías explotables como la solar y eólica que ha despertado desde ahora el interés de las instituciones locales y nacionales en explotarlas. También se encontrarán presentes otras fuentes de energía como el biogás y la geotérmica que, si bien en el escenario final no los consideramos como de influencia directa por los altos costos que acarrearán. Sin embargo, en un momento dado van a despegar ya que existe potencial aprovechamiento y permita diversificar más al sistema de energía.

La dependencia de los combustibles fósiles será una barrera la misma que se debe derribar, estamos conscientes que sus reservas están agotándose y es imperioso que se dé la transición con mayor celeridad, el paso del tiempo puede ser el mayor enemigo.

5. RESUMEN

La creciente demanda de energía eléctrica referida como factor clave en el desarrollo de la sociedad actual, necesita una transición energética global para cumplir los objetivos de limitar el aumento medio de la temperatura superficial global por debajo de 2°C. junto con una industria basada principalmente en hidrocarburos, impulsan el desarrollo de nuevas tecnologías renovables como opción para encaminar a un desarrollo sostenible. Con el objetivo de reducir las emisiones de dióxido de carbono (CO₂), las soluciones bajas en carbono como los recursos renovables jugarán un papel fundamental en el futuro y para ello es necesario disponer de hojas de ruta que pueden ser desde regiones, países, ciudades o sectores. La transición energética requerirá una fuerte innovación tecnológica, especialmente en el campo de las energías renovables. En este sentido, los recursos energéticos disponibles en territorio como las corrientes de agua, viento, radiación solar, etc están recibiendo un interés importante a nivel investigativo y puedan ser aprovechados adecuadamente mediante las tecnologías energéticas renovables pueda ser convertida en energía renovable y llegar a ser un factor de desarrollo importante para las grandes urbes como también para las comunidades aisladas.

El disponer de distintas fuentes de energía renovable en el sistema eléctrico lo vuelve más confiable dado que no existe una dependencia directa de una u otra fuente renovable y se logre satisfacer adecuadamente la demanda creciente de electricidad a largo plazo.

La presente Tesis Doctoral se centra en satisfacer la demanda de energía a largo plazo, considerando un análisis de escenarios de generación de energía provenientes de fuentes de energías renovables evaluando inicialmente un año base y con el soporte de software especializado se trazan los escenarios que consiste en incrementar mayores tasas de energías renovables y disminuir progresivamente los aportes de combustibles fósiles.

En esta tesis los escenarios se trazan al 2050 para lograr un 100% de energía renovable en el mix energético en la búsqueda de garantizar el servicio de electricidad a la demanda creciente. Los casos de estudio enfocados en esta tesis y principalmente publicados en artículos científicos ha sido el caso sudamericano, ecuatoriano y finalmente el caso de la Ciudad de Cuenca en Ecuador. En esta misma línea se analizó el caso de bombas de calor residencial para España y la dinámica que surge a nivel de la demanda en el cual los vehículos eléctricos pueden ser una fuente de abastecimiento de energía edificios aprovechando precios bajos durante la noche y disponer de energía suficiente en el día a costos reducidos. Se confirma que el camino hacia una transición energética con altas tasas de contribución de energías renovables es el camino adecuado para dinamizar la economía

de los países y todos los territorios que lo conforman y pueden analizarse áreas más reducidas que conforman un todo bajo los conceptos de energía inteligente y evitar el aumento de temperatura a nivel global en el cual todos estamos inmersos.

En esta tesis por compendio se realizan los análisis en los territorios indicados, utilizando el concepto de energía inteligente y el software de soporte es EnergyPLAN lo cual ha permitido realizar las proyecciones a largo plazo y abastecer la demanda futura introduciendo conceptos que gestione el lado de la demanda y lograr un equilibrio entre generación y demanda hora a hora. Sin embargo, también se analizó desde la incidencia de la energía renovable en instalaciones más puntuales. Particularmente está el caso de análisis en las Arquitecturas orgánicas en las cercanías de la Ciudad de Cuenca, donde se emplazan infraestructuras tipo avión, ha sido un caso de estudio que ha permitido evaluar la incidencia de la energía eólica y solar fotovoltaica en la localidad. Sus resultados han sido muy alentadores para aplicaciones que llevan a las comunidades al crecimiento económico y protección del medio ambiente. En definitiva, estos desarrollos a menor escala también aportan sustancialmente a la transición energética que despierta interés en el Ecuador y que a nivel gubernamental inclusive ya se creó bajo decreto 059 el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, para impulsar con más fuerza estas iniciativas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Chauhan, R.P. Saini, A review on Integrated Renewable Energy System based power generation for stand-alone applications: Configurations, storage options, sizing methodologies and control, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 38 (2014) 99–120. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.079>.
- [2] World Energy Outlook 2019 – Analysis, IEA. (n.d.). <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019> (accessed August 27, 2020).
- [3] Castro Bejarano, Jeyson Gerardo. Análisis del proceso de integración energética entre Mercosur y Venezuela desde un nuevo regionalismo hacia la integración regional. Diss. Universidad del Rosario, 2013.
- [4] M.Á. Caraballo Pou, J.M. García Simón, M.Á. Caraballo Pou, J.M. García Simón, Energías renovables y desarrollo económico. Un análisis para España y las grandes economías europeas, *El trimestre económico*. 84 (2017) 571–609. <https://doi.org/10.20430/ete.v84i335.508>.
- [5] M.J. Economides, ¿Estamos ante una inminente escasez mundial de petróleo?, *Vanguardia* dossier. (2006) 6–14. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2722929> (accessed September 5, 2022).
- [6] A. Lucas Garín, A. Lucas Garín, Novedades del Sistema de Protección Internacional de Cambio Climático: el Acuerdo de París, *Estudios Internacionales (Santiago)*. 49 (2017) 137–167. <https://doi.org/10.5354/0719-3769.2017.45222>.
- [7] M.R. Agosin, R. Ffrench-Davis, La liberalización comercial en América Latina, (1993). <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/11897> (accessed September 5, 2022).
- [8] M. Campins Eritja, COP25: entre la frustración y la resignación, (2019). <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/148512> (accessed September 5, 2021).
- [9] D.F. Dominković, I. Bačeković, B. Ćosić, G. Krajačić, T. Pukšec, N. Duić, N. Markovska, Zero carbon energy system of South East Europe in 2050, *Applied Energy*. 184 (2016) 1517–1528. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.046>.
- [10] A.A. Cisneros Vidales, V.M. Barriga Albuja, Oil Exploitation in Yasuni Biosphere Reserve. Impact on Ecuador's Commitment with Sustainability, in: W. Leal Filho, R. Noyola-Cherpitel, P. Medellín-Milán, V. Ruiz Vargas (Eds.), *Sustainable Development Research and Practice in Mexico and Selected Latin American Countries*, Springer International Publishing, Cham, 2018: pp. 167–183. https://doi.org/10.1007/978-3-319-70560-6_11.
- [11] D. Connolly, H. Lund, B.V. Mathiesen, Smart Energy Europe: The technical and economic impact of one potential 100% renewable energy scenario for the European Union, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 60 (2016) 1634–1653. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.025>.
- [12] M. Child, A. Nordling, C. Breyer, Scenarios for a sustainable energy system in the Åland Islands in 2030, *Energy Conversion and Management*. 137 (2017) 49–60. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.01.039>.
- [13] F.F. Adedoyin, F.V. Bekun, A.A. Alola, Growth impact of transition from non-renewable to renewable energy in the EU: The role of research and development expenditure, *Renewable Energy*. 159 (2020) 1139–1145. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.06.015>.
- [14] N. Unger, Human land-use-driven reduction of forest volatiles cools global climate, *Nature Clim Change*. 4 (2014) 907–910. <https://doi.org/10.1038/nclimate2347>.
- [15] M. Ben Jebli, S. Ben Youssef, Output, renewable and non-renewable energy consumption and international trade: Evidence from a panel of 69 countries, *Renewable Energy*. 83 (2015) 799–808. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.04.061>.
- [16] Hansen, Kenneth, Christian Breyer, and Henrik Lund. "Status and perspectives on 100% renewable energy systems." *Energy* 175 (2019): 471-480.

- [17] Blakers, Andrew, et al. "Pathway to 100% renewable electricity." *IEEE Journal of Photovoltaics* 9.6 (2019): 1828-1833.
- [18] M. Ma, W. Cai, Y. Wu, China Act on the Energy Efficiency of Civil Buildings (2008): A decade review, *Science of The Total Environment*. 651 (2019) 42–60. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.118>.
- [19] L. Curran, P. Lv, F. Spigarelli, Chinese investment in the EU renewable energy sector: Motives, synergies and policy implications, *Energy Policy*. 101 (2017) 670–682. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.09.018>.
- [20] A.A.N. Jami, P.R. Walsh, The role of public participation in identifying stakeholder synergies in wind power project development: The case study of Ontario, Canada, *Renewable Energy*. 68 (2014) 194–202. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.02.004>.
- [21] D. van Beers, W.K. Biswas, A regional synergy approach to energy recovery: The case of the Kwinana industrial area, Western Australia, *Energy Conversion and Management*. 49 (2008) 3051–3062. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2008.06.008>.
- [22] S. Kakran, S. Chanana, Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 81 (2018) 524–535. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.045>.
- [23] D. Icaza, D. Borge-Diez, Potential Sources of Renewable Energy for the Energy Supply in the City of Cuenca-Ecuador with Towards a Smart Grid, in: 2019 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 2019: pp. 603–610. <https://doi.org/10.1109/ICRERA47325.2019.8997114>.
- [24] D. Icaza, D. Borge-Diez, Impact of Demand Side Management (DSM) in the City of Cuenca on the Stage of a Smart City, in: 2019 7th International Conference on Smart Grid (IcSmartGrid), 2019: pp. 174–180. <https://doi.org/10.1109/icSmartGrid48354.2019.8990778>.
- [25] F. Shariatzadeh, P. Mandal, A.K. Srivastava, Demand response for sustainable energy systems: A review, application and implementation strategy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 45 (2015) 343–350. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.062>.
- [26] CENTRAL HIDROELÉCTRICA "COCA CODO SINCLAIR" – Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, (n.d.). <https://www.recursoyenergia.gob.ec/central-hidroelectrica-coca-codo-sinclair/> (accessed April 15, 2022).
- [27] F.M. Hossain, M. Hasanuzzaman, N.A. Rahim, H.W. Ping, Impact of renewable energy on rural electrification in Malaysia: a review, *Clean Techn Environ Policy*. 17 (2015) 859–871. <https://doi.org/10.1007/s10098-014-0861-1>.
- [28] A.H. Elbatran, O.B. Yaakob, Y.M. Ahmed, H.M. Shabara, Operation, performance and economic analysis of low head micro-hydropower turbines for rural and remote areas: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 43 (2015) 40–50. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.045>.
- [29] F. Posso, J. Sánchez, J.L. Espinoza, J. Siguencia, Preliminary estimation of electrolytic hydrogen production potential from renewable energies in Ecuador, *International Journal of Hydrogen Energy*. 41 (2016) 2326–2344. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.11.155>.
- [30] D. Icaza, C. Salinas, D. Moncayo, F. Icaza, A. Cárdenas, Ma.A. Tello, Production of Energy in the Villonaco Wind Farm in Ecuador, in: 2018 World Engineering Education Forum - Global Engineering Deans Council (WEEF-GEDC), 2018: pp. 1–7. <https://doi.org/10.1109/WEEF-GEDC.2018.8629596>.
- [31] Soto, Carlos. "Central Eólica Villonaco Energías Renovables, Sustentables, y Sostenibles." (2017).
- [32] Keegan Ricaurte, Daniel Puma. Viabilidad económica de la implementación de energía fotovoltaica residencial en la isla San Cristóbal, Galápagos. BS thesis. Quito, 2021.
- [33] K.K. Perry, For politics, people, or the planet? The political economy of fossil fuel reform, energy dependence and climate policy in Haiti, *Energy Research & Social Science*. 63 (2020) 101397. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.101397>.

- [34] J.C.M. Pires, COP21: The algae opportunity?, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 79 (2017) 867–877. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.197>.
- [35] A. Boute, Off-grid renewable energy in remote Arctic areas: An analysis of the Russian Far East, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 59 (2016) 1029–1037. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.034>.
- [36] D. Boulogiorgou, P. Ktenidis, TILOS local scale Technology Innovation enabling low carbon energy transition, *Renewable Energy*. 146 (2020) 397–403. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.06.130>.
- [37] T. Jamal, W. Ongsakul, J.G. Singh, S. Salehin, S.M. Ferdous, Potential rooftop distribution mapping using Geographic Information Systems (GIS) for Solar PV Installation: A case study for Dhaka, Bangladesh, in: 2014 3rd International Conference on the Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), 2014: pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICDRET.2014.6861648>.
- [38] E. Pursiheimo, H. Holttinen, T. Koljonen, Inter-sectoral effects of high renewable energy share in global energy system, *Renewable Energy*. 136 (2019) 1119–1129. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.082>.
- [39] A.C. Duman, Ö. Güler, Economic analysis of grid-connected residential rooftop PV systems in Turkey, *Renewable Energy*. 148 (2020) 697–711. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.157>.
- [40] M. Goel, Solar rooftop in India: Policies, challenges and outlook, *Green Energy & Environment*. 1 (2016) 129–137. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2016.08.003>.
- [41] J. Rodríguez Girón, Access to international tourism markets by local actors. A systems thinking-based analysis on enhancing the collective capacity of a destination to attract the desired type of tourism: The case of the Cajas Massif Biosphere Area, (2018). <https://lirias.kuleuven.be/1995230> (accessed October 11, 2020).
- [42] J.L. Luteyn, Cien plantas silvestres del Páramo (One hundred wild plants from the páramo), *Parque Nacional Cajas, Cuenca, Ecuador, Brittonia*. 58 (2006) 288–288. [https://doi.org/10.1663/0007-196X\(2006\)58\[288a:BR\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1663/0007-196X(2006)58[288a:BR]2.0.CO;2).
- [43] R. Guerrero, J. Serpa, D. Mora, Evaluación de intensidades de precipitación influenciadas por oscilaciones decadales: Cuenca del Río Paute, *Maskana*. 8 (2017) 185–190. <https://publicaciones.ucuenca.edu.ec/ojs/index.php/maskana/article/view/1978> (accessed April 28, 2022).
- [44] Donoso, Mario E., and Fausto O. Sarmiento. "Changing mountain farmscapes: vulnerability and migration drivers in the Paute River watershed, Southern Ecuador." *Journal of Mountain Science* 18.7 (2021): 1902-1919.
- [45] Impact of climate change on hydropower generation in Rio Jubones Basin, Ecuador, *Water Science and Engineering*. 11 (2018) 157–166. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2018.07.002>.
- [46] D. Icaza, D. Borge-Diez, Energy Supply of a Hybrid System of Biomass and Wind Turbines of the Pichacay Landfill Towards an Intelligent Network for the City of Cuenca-Ecuador, in: J. Nummenmaa, F. Pérez-González, B. Domenech-Lega, J. Vaunat, F. Oscar Fernández-Peña (Eds.), *Advances and Applications in Computer Science, Electronics and Industrial Engineering*, Springer International Publishing, Cham, 2020: pp. 287–307. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33614-1_20.
- [47] 80% de avance presenta Minas de Huascachaca, el proyecto eólico más grande del Ecuador – Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, (n.d.). <https://www.recursosyenergia.gob.ec/80-de-avance-presenta-minas-de-huascachaca-el-proyecto-eolico-mas-grande-del-ecuador/> (accessed January 18, 2022).
- [48] R.K. Akikur, R. Saidur, H.W. Ping, K.R. Ullah, Comparative study of stand-alone and hybrid solar energy systems suitable for off-grid rural electrification: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 27 (2013) 738–752. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.043>.
- [49] E. Mosinger, *Crafted by Crises: Regional Integration and Democracy in South America*, in: L. Fioramonti (Ed.), *Regions and Crises: New Challenges for Contemporary*

- Regionalisms, Palgrave Macmillan UK, London, 2012: pp. 163–179. https://doi.org/10.1057/9781137028327_10.
- [50] G.E.F. Juca, J.G.C. Carmona, La pérdida de las áreas verdes privadas como consecuencia de la construcción irregular. El caso de Cuenca-Ecuador, *Estudios sobre Arte Actual*. (2016) 10. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5634812> (accessed July 29, 2022).
- [51] ximena de la barra, R.A. Dello Buono, From ALBA to CELAC toward 'another integration?', *NACLA Report on the Americas*. 45 (2012) 32–36. <https://doi.org/10.1080/10714839.2012.11722088>.
- [52] J.A. Vervaele, *MERCOSUR AND REGIONAL INTEGRATION IN SOUTH AMERICA*, *International & Comparative Law Quarterly*. 54 (2005) 387–410. <https://doi.org/10.1093/iclq/lei007>.
- [53] H.A. Illias, N.S. Ishak, N.A.M.N. Alam, Awareness of Secondary School Students in Petaling Jaya Malaysia Towards Renewable Energy, *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*. 10 (2020) 1645–1654. <http://www.ijrer.ijrer.org/index.php/ijrer/article/view/11288> (accessed July 29, 2022).
- [54] admin, Future Earth Has Major Impacts at COP25 in Madrid, *GSTDTAP*. (2019). <http://119.78.100.173/C666/handle/2XK7JSWQ/217047> (accessed January 6, 2022).
- [55] G.A.L. Castillo, L.A.C. Álava, M.C. Fernández, M.V. Llanes, Roadmap for the introduction of smart grids in Ecuador, *International Journal of Physical Sciences and Engineering*. 1 (2017) 1–10. <https://doi.org/10.21744/ijpse.v1i2.28>.
- [56] Elliston, Ben, Mark Diesendorf, and Iain MacGill. "Simulations of scenarios with 100% renewable electricity in the Australian National Electricity Market." *Energy Policy* 45 (2012): 606-613.
- [57] M.A. Ponce-Jara, M. Castro, M.R. Pelaez-Samaniego, J.L. Espinoza-Abad, E. Ruiz, Electricity sector in Ecuador: An overview of the 2007–2017 decade, *Energy Policy*. 113 (2018) 513–522. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.036>.
- [58] América economía, Ecuador licitará proyectos energéticos que requerirán inversiones de más de US\$ 1.800M, (2022). <https://www.americaeconomia.com/negocios-empresas/ecuador-licitara-proyectos-energeticos-que-requeriran-inversiones-de-mas-de-us-1-800m> (accessed July 17, 2022).
- [59] E.L. Arteaga-Cruz, Buen Vivir (Sumak Kawsay): definiciones, crítica e implicaciones en la planificación del desarrollo en Ecuador, *Saúde debate*. 41 (2017) 907–919. <https://doi.org/10.1590/0103-1104201711419>.
- [60] C. Gregor Barié, Nuevas narrativas constitucionales en Bolivia y Ecuador: el buen vivir y los derechos de la naturaleza, *Latinoamérica. Revista de estudios Latinoamericanos*. (2014) 9–40. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1665-85742014000200002&lng=es&nrm=iso&tlng=es (accessed August 29, 2020).
- [61] Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo, Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES) de Ecuador, (2020). <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/instituciones/secretaria-nacional-de-planificacion-y-desarrollo-senplades-de-ecuador> (accessed July 23, 2022).
- [62] CENACE, La demanda eléctrica del Ecuador aumentó en un 8,13% – Operador Nacional de Electricidad CENACE, (2021). <http://www.cenace.gob.ec/la-demanda-electrica-del-ecuador-aumento-en-un-813/> (accessed July 16, 2022).
- [63] Renewable Energy Market Analysis: Latin America, /Publications/2016/Nov/Renewable-Energy-Market-Analysis-Latin-America. (n.d.). <https://www.irena.org/publications/2016/Nov/Renewable-Energy-Market-Analysis-Latin-America> (accessed January 20, 2022).
- [64] J.I. Jaramillo Ojeda, A.A. Uchuari Marizaca, Análisis de la ubicación de electrolineras en la ciudad de Loja, (2021). <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/20346> (accessed September 5, 2021).
- [65] Q. Li, W. Chen, Z. Liu, M. Li, L. Ma, Development of energy management system based on a power sharing strategy for a fuel cell-battery-supercapacitor hybrid tramway,

- Journal of Power Sources. 279 (2015) 267–280. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.12.042>.
- [66] Q. González, T. Esteban, Desarrollo un plan estratégico de comunicación para el posicionamiento del tranvía como un sistema de transporte eficiente en la colectividad de la ciudad de Cuenca, (2014). <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2792385> (accessed September 5, 2021).
- [67] J. Martínez-Gómez, D. Ibarra, S. Villacis, P. Cuji, P.R. Cruz, Analysis of LPG, electric and induction cookers during cooking typical Ecuadorian dishes into the national efficient cooking program, Food Policy. 59 (2016) 88–102. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.12.010>.
- [68] D. Bogdanov, C. Breyer, North-East Asian Super Grid for 100% renewable energy supply: Optimal mix of energy technologies for electricity, gas and heat supply options, Energy Conversion and Management. 112 (2016) 176–190. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.01.019>.
- [69] J.M. Kissel, R. Hanitsch, S.C.W. Krauter, Cornerstones of a renewable energy law for emerging markets in South America, Energy Policy. 37 (2009) 3621–3626. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.04.018>.
- [70] D.I. Alvarez, Modeling, simulation and construction of the D-ICAZA-A1 wind turbine destined for the rural areas of ecuador, in: 2017 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America), IEEE, Quito, 2017: pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ISGT-LA.2017.8126742>.
- [71] G.J. Delgado Orellana, M.L. Orellana Samaniego, Estimación de la radiación solar global diaria en el cantón Cuenca mediante la aplicación del modelo Bristow & Campbell, (2015). <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8428> (accessed November 3, 2020).
- [72] S.P. Galindo, D. Borge-Diez, D. Icaza, Energy sector in Ecuador for public lighting: Current status, Energy Policy. 160 (2022) 112684. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112684>.
- [73] J. Bischoff, M. Maciejewski, T. Schlenker, K. Nagel, Autonomous Vehicles and their Impact on Parking Search, IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine. 11 (2019) 19–27. <https://doi.org/10.1109/MITS.2018.2876566>.
- [74] FronsdaHL, Nicole, and Pritpal Singh. "Investigation of the Electric Power System for San Cristobal Island in the Galapagos Archipelago." 2021 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC). IEEE, 2021.
- [75] A. Zani, G. Migliavacca, A. Grassi, A scenario analysis for an optimal RES integration into the European transmission grid up to 2050, in: 2011 8th International Conference on the European Energy Market (EEM), 2011: pp. 401–406. <https://doi.org/10.1109/EEM.2011.5953045>.
- [76] C. Kuzemko, M. Bradshaw, G. Bridge, A. Goldthau, J. Jewell, I. Overland, Covid-19 and the politics of sustainable energy transitions, Energy Research & Social Science. 68 (2020) 101685. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101685>.
- [77] I. Cronshaw, World Energy Outlook 2014 projections to 2040: natural gas and coal trade, and the role of China, Aust J Agric Resour Econ. 59 (2015) 571–585. <https://doi.org/10.1111/1467-8489.12120>.
- [78] A.A. Tejada Cabanillas, Prospectiva de la demanda energética nacional del 2017 al 2040, Repositorio institucional – UNAC. (2017). <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/3921> (accessed September 5, 2022).
- [79] E. Buzarquis, J. Domaniczky, M. Barboza, Greenhouse Gas Emission Evaluation for the Republic of Paraguay - Energy Forecast between 2013-2040, in: 2018 IEEE Biennial Congress of Argentina (ARGENCON), 2018: pp. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ARGENCON.2018.8646273>.
- [80] Global EV Outlook 2019 – Analysis, IEA. (n.d.). <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019> (accessed December 4, 2020).

- [81] E. Smith, Renewable Energy: Costa Rica's Energy Independence, *The Tico Times | Costa Rica News | Travel | Real Estate*. (2021). <https://ticotimes.net/2021/09/12/renewable-energy-costa-ricas-energy-independence> (accessed August 4, 2022).
- [82] B.K. Veettil, S. Wang, S. Florêncio de Souza, U.F. Bremer, J.C. Simões, Glacier monitoring and glacier-climate interactions in the tropical Andes: A review, *Journal of South American Earth Sciences*. 77 (2017) 218–246. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.04.009>.
- [83] S. Arango, E.R. Larsen, The environmental paradox in generation: How South America is gradually becoming more dependent on thermal generation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14 (2010) 2956–2965. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.07.049>.
- [84] H. Rudnick, R. Raineri, Transmission pricing practices in South America, *Utilities Policy*. 6 (1997) 211–218. [https://doi.org/10.1016/S0957-1787\(97\)00015-5](https://doi.org/10.1016/S0957-1787(97)00015-5).
- [85] N. CEPAL, Formulación de los planes de ordenamiento de recursos hídricos en América Latina y el Caribe = Formulation of plans for water resource management in Latin America and the Caribbean, *Formulation of plans for water resource management in Latin America and the Caribbean*. (1986). <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/14130> (accessed December 10, 2020).
- [86] P.S. Merchán Guarango, M.F. Uguña Quilli, Optimización de la topología de un sistema de distribución residencial en bajo voltaje, aplicando el método GWO (Grey Wolf Optimization), (2019). <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18251> (accessed June 23, 2022).
- [87] L.E.M. R, Á.H. R, F. Builes, N. Calle, F.V. B, Los ciclos económicos en ALALC o ALADI, CAN, CAFTA, MCCA: 1960-2008, *Perfil de Coyuntura Económica*. (2012) 127–153. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/coyuntura/article/view/18188> (accessed January 15, 2022).
- [88] CELAC | CELAC INTERNATIONAL, (2018). <https://celacinternational.org/celac-4/> (accessed January 15, 2022).
- [89] H. Rudnick, Chile: pioneer in deregulation of the electric power sector, *IEEE Power Engineering Review (Institute of Electrical and Electronics Engineers); (United States)*. 14:6 (1994). <https://doi.org/10.1109/MPER.1994.286546>.
- [90] S. Arango-Aramburo, J.P. Ríos-Ocampo, E.R. Larsen, Examining the decreasing share of renewable energy amid growing thermal capacity: The case of South America, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 119 (2020) 109648. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109648>.
- [91] U.N. Environment, *Carbono Cero – América Latina y el Caribe*, UNEP - UN Environment Programme. (2020). <http://www.unep.org/es/resources/informe/carbono-cero-america-latina-y-el-caribe> (accessed January 20, 2022).
- [92] T.M. Aide, H.R. Grau, Globalization, Migration, and Latin American Ecosystems, *Science*. (2004). <https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1103179> (accessed September 5, 2021).
- [93] F. Abdelaal, B.H.W. Guo, Stakeholders' perspectives on BIM and LCA for green buildings, *Journal of Building Engineering*. 48 (2022) 103931. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103931>.
- [94] F. van Noorloos, G. Steel, Lifestyle migration and socio-spatial segregation in the urban(izing) landscapes of Cuenca (Ecuador) and Guanacaste (Costa Rica), *Habitat International*. 54 (2016) 50–57. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2015.08.014>.
- [95] A. Arcos-Vargas, A. Gomez-Exposito, F. Gutierrez-Garcia, Self-sufficient renewable energy supply in urban areas: Application to the city of Seville, *Sustainable Cities and Society*. 46 (2019) 101450. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101450>.
- [96] I.I. de C. para la Agricultura (IICA), L.D. Solórzano, S. Fevrier, M. Barquero, D'Piñón, el bioemprendimiento que cierra el círculo, (2020). <https://repositorio.iica.int/handle/11324/10673> (accessed August 20, 2022).

- [97] Analysing the feasibility of powering the Americas with renewable energy and inter-regional grid interconnections by 2030, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 105 (2019) 187–205. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.046>.
- [98] J. Bremner, F. Lu, Common Property among Indigenous Peoples of the Ecuadorian Amazon, *Conservation and Society*. 4 (2006) 499–521. <https://www.jstor.org/stable/26392859> (accessed April 9, 2022).
- [99] C. Olade, Procesos competitivos para el financiamiento de proyectos de energías renovables. Situación en América Latina y el Caribe., *Extranet*. (n.d.). <http://extranet.olade.org/publicaciones/procesos-competitivos-financiamiento-proyectos-energias-renovables-situacion-america-latina-caribe/?lang=en> (accessed January 17, 2022).
- [100] D. Bogdanov, A. Gulagi, M. Fasihi, C. Breyer, Full energy sector transition towards 100% renewable energy supply: Integrating power, heat, transport and industry sectors including desalination, *Applied Energy*. 283 (2021) 116273. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116273>.
- [101] N. Frons Dahl, P. Singh, Investigating increased renewable energy penetration on San Cristobal Island in the Galapagos archipelago, in: 2021 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), 2021: pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/PESGM46819.2021.9637838>.
- [102] F. Posso, J. Siguencia, R. Narváez, Residual biomass-based hydrogen production: Potential and possible uses in Ecuador, *International Journal of Hydrogen Energy*. 45 (2020) 13717–13725. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.09.235>.
- [103] M. del M. Rubio, X. Tafunell, Latin American hydropower: A century of uneven evolution, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 38 (2014) 323–334. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.068>.
- [104] E.L. Ratnam, K.G.H. Baldwin, P. Mancarella, M. Howden, L. Seebeck, Electricity system resilience in a world of increased climate change and cybersecurity risk, *The Electricity Journal*. 33 (2020) 106833. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2020.106833>.
- [105] IRENA, Renewable Energy Policies in a Time of Transition: Heating and Cooling, /Publications/2020/Nov/Renewable-Energy-Policies-in-a-Time-of-Transition-Heating-and-Cooling. (n.d.). /publications/2020/Nov/Renewable-Energy-Policies-in-a-Time-of-Transition-Heating-and-Cooling (accessed April 25, 2021).
- [106] J.L. Lässig, M.G. Cogliati, M.A. Bastanski, C. Palese, Wind characteristics in Neuquen, North Patagonia, Argentina, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 79 (1999) 183–199. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(98\)00110-X](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(98)00110-X).
- [107] Brasil introducirá 45% de renovables a su matriz energética para 2030, *Energía Hoy*. (2020). <https://energiyahoy.com/2020/12/18/brasil-introducir-a-45-de-renovables-a-su-matriz-energetica-para-2030/> (accessed January 29, 2022).
- [108] D. Watts, N. Oses, R. Pérez, Assessment of wind energy potential in Chile: A project-based regional wind supply function approach, *Renewable Energy*. 96 (2016) 738–755. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.038>.
- [109] T. Ackermann, L. Söder, Wind energy technology and current status: a review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 4 (2000) 315–374. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(00\)00004-6](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(00)00004-6).
- [110] ¡A todas luces!: La electricidad en América Latina y el Caribe 2040 | Publications, (n.d.). https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/%C2%A1A_todas_luces_La_electricidad_en_Am%C3%A9rica_Latina_y_el_Caribe_2040_es_es.pdf (accessed January 18, 2022).
- [111] H. Lund, J.Z. Thellufsen, P.A. Østergaard, P. Sorknæs, I.R. Skov, B.V. Mathiesen, EnergyPLAN – Advanced analysis of smart energy systems, *Smart Energy*. 1 (2021) 100007. <https://doi.org/10.1016/j.segy.2021.100007>.
- [112] S.J. Bhore, Paris Agreement on Climate Change: A Booster to Enable Sustainable Global Development and Beyond, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 13 (2016) 1134. <https://doi.org/10.3390/ijerph13111134>.

- [113] Portal Energético para América Latina, Global Energy Monitor. (n.d.). <https://globalenergymonitor.org/projects/latin-america-resource-information-hub/> (accessed December 14, 2021).
- [114] I. Goldfajn, L. Martínez, R.O. Valdés, Washington Consensus in Latin America: From Raw Model to Straw Man, *Journal of Economic Perspectives*. 35 (2021) 109–132. <https://doi.org/10.1257/jep.35.3.109>.
- [115] L. de S.N.S. Barbosa, D. Bogdanov, P. Vainikka, C. Breyer, Hydro, wind and solar power as a base for a 100% renewable energy supply for South and Central America, *PLOS ONE*. 12 (2017) e0173820. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173820>.
- [116] R. Alvarado, P. Ponce, R. Alvarado, K. Ponce, V. Huachizaca, E. Toledo, Sustainable and non-sustainable energy and output in Latin America: A cointegration and causality approach with panel data, *Energy Strategy Reviews*. 26 (2019) 100369. <https://doi.org/10.1016/j.esr.2019.100369>.
- [117] L.L.B. Lazaro, R.S. Soares, C. Bermann, F.M.A. Collaço, L.L. Giatti, S. Abram, Energy transition in Brazil: Is there a role for multilevel governance in a centralized energy regime?, *Energy Research & Social Science*. 85 (2022) 102404. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102404>.
- [118] K.G. Di Santo, E. Kanashiro, S.G. Di Santo, M.A. Saidel, A review on smart grids and experiences in Brazil, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 52 (2015) 1072–1082. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.182>.
- [119] L. Pietrosevoli, C. Rodríguez-Monroy, The Venezuelan energy crisis: Renewable energies in the transition towards sustainability, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 105 (2019) 415–426. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.02.014>.
- [120] T. Azzopardi, Colombia plans third renewable energy tender, (n.d.). https://www.windpowermonthly.com/article/1723979?utm_source=website&utm_medium=social (accessed January 20, 2022).
- [121] Colombia renewables tender in 2021 to contract 5 GW, *Renewablesnow.Com*. (n.d.). <https://renewablesnow.com/news/colombia-renewables-tender-in-2021-to-contract-5-gw-720503/> (accessed January 20, 2022).
- [122] L. Clementi, S.C. Carrizo, R. Bustos Cara, La región SUBA, Sur de la Provincia de Buenos Aires, epicentro eólico en Argentina, *SUBA region in the South of Buenos Aires Province, wind epicenter in Argentina*. 28, no. 1 (2019). <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/108801> (accessed September 5, 2021).
- [123] F. Bustos, A. Toledo, J. Contreras, A. Fuentes, Sensitivity analysis of a photovoltaic solar plant in Chile, *Renewable Energy*. 87 (2016) 145–153. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.070>.
- [124] *ClimateScope 2021 | Chile*, (n.d.). <https://global-climatescope.org//markets/cl/> (accessed January 29, 2022).
- [125] P. Lillo, L. Ferrer-Martí, M. Juanpera, Strengthening the sustainability of rural electrification projects: Renewable energy, management models and energy transitions in Peru, Ecuador and Bolivia, *Energy Research & Social Science*. 80 (2021) 102222. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102222>.
- [126] L.D. Laino, Paraguay: Soberanía energética y desarrollo, *Población y Desarrollo*. (2015) 60–73. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5654227> (accessed January 29, 2022).
- [127] Autoridades peruanas confirman segundo derrame de petróleo en Ventanilla, (n.d.). <https://www.telesurtv.net/news/peru-autoridades-confirman-segundo-derrame-petroleo-ventanilla-20220126-0025.html> (accessed January 29, 2022).
- [128] *Estrategia Nacional de Desarrollo Uruguay 2050 | Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo*, (n.d.). <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/estrategia-nacional-de-desarrollo-uruguay-2050> (accessed January 29, 2022).
- [129] Rees, William E. "COP-26: Stopping climate change and other illusions." *Buildings and Cities* (2021).

- [130] H. Aldás, J. Leonardo, Diversificación de la matriz energética en el Ecuador: indicadores energéticos, socio-económicos y ambientales, (2019). <http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/15640> (accessed July 16, 2022).
- [131] Plan de la Patria 2019-2025 de Venezuela | Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo, (n.d.). <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-de-la-patria-2019-2025-de-venezuela> (accessed January 29, 2022).
- [132] Inter-American Development Bank, La energía solar térmica: ¡Deja que entre el sol! Un recurso renovable para los procesos industriales | Publications, (n.d.). <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/La-energ%C3%ADa-solar-t%C3%A9rmica-%C2%A1Deja-que-entre-el-sol!-Un-recurso-renovable-para-los-procesos-industriales.pdf> (accessed April 25, 2021).
- [133] Antolín, María José Paz, and Juan Manuel Ramírez Cendrero. "How important are national companies for oil and gas sector performance? Lessons from the Bolivia and Brazil case studies." *Energy policy* 61 (2013): 707-716.
- [134] Latest Global Tenders and Bids, Global Tenders. (n.d.). <https://www.globaltenders.com> (accessed January 20, 2022).
- [135] F.J. Orrego Gutiérrez, Revisión de los conceptos básicos del constitucionalismo, a la luz de las experiencias de asambleas constituyentes en Ecuador y Bolivia: lecciones para Chile 2021-2022, (2021). <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/183306> (accessed July 15, 2022).
- [136] K. Murugaperumal, P. Ajay D Vimal Raj, Feasibility design and techno-economic analysis of hybrid renewable energy system for rural electrification, *Solar Energy*. 188 (2019) 1068–1083. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.07.008>.
- [137] ENERGÍA EÓLICA, CIER Galápagos. (2016). <https://ciergalapagos.wordpress.com/renovables/energia-eolica/> (accessed April 15, 2022).
- [138] L.E.O.C. Aragão, L.O. Anderson, M.G. Fonseca, T.M. Rosan, L.B. Vedovato, F.H. Wagner, C.V.J. Silva, C.H.L. Silva Junior, E. Arai, A.P. Aguiar, J. Barlow, E. Berenguer, M.N. Deeter, L.G. Domingues, L. Gatti, M. Gloor, Y. Malhi, J.A. Marengo, J.B. Miller, O.L. Phillips, S. Saatchi, 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions, *Nature Communications*. 9 (2018) 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02771-y>.
- [139] C. Espinosa, The riddle of leaving the oil in the soil—Ecuador's Yasuní-ITT project from a discourse perspective, *Forest Policy and Economics*. 36 (2013) 27–36. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2012.07.012>.
- [140] S. Buccina, D. Chene, J. Gramlich, Accounting for the environmental impacts of Texaco's operations in Ecuador: Chevron's contingent environmental liability disclosures, *Accounting Forum*. 37 (2013) 110–123. <https://doi.org/10.1016/j.accfor.2013.04.003>.
- [141] M. Finer, R. Moncel, C.N. Jenkins, Leaving the Oil Under the Amazon: Ecuador's Yasuní-ITT Initiative, *Biotropica*. 42 (2010) 63–66. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2009.00587.x>.
- [142] A.C. Pérez Mora, Las dificultades en la iniciativa ecuatoriana Yasuní-ITT que propone una alternativa para el cambio climático: ¿inexactitudes políticas internas o falta de corresponsabilidad mundial?, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. (2012). <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/5383> (accessed September 5, 2021).
- [143] M.S. Bass, M. Finer, C.N. Jenkins, H. Kreft, D.F. Cisneros-Heredia, S.F. McCracken, N.C.A. Pitman, P.H. English, K. Swing, G. Villa, A.D. Fiore, C.C. Voigt, T.H. Kunz, Global Conservation Significance of Ecuador's Yasuní National Park, *PLOS ONE*. 5 (2010) e8767. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008767>.
- [144] Ecuador, referente en iniciativas de Bioenergía en América Latina – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, (n.d.). <https://www.ambiente.gob.ec/ecuador-referente-en-iniciativas-de-bioenergia-en-america-latina/> (accessed April 16, 2022).

- [145] Acceso al servicio de electricidad | IADB, (n.d.). <https://hubenergia.org/index.php/es/indicators/acceso-al-servicio-de-electricidad> (accessed January 15, 2022).
- [146] “Plan Nacional de Desarrollo 2017-2021 Toda una Vida” de Ecuador | Observatorio Regional de Planificación para el Desarrollo, (n.d.). <https://observatorioplanificacion.cepal.org/es/planes/plan-nacional-de-desarrollo-2017-2021-toda-una-vida-de-ecuador> (accessed July 23, 2021).
- [147] CENACE, Informe anual 2020, (2020). <http://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/04/Informe-Anual-CENACE-2020-Parte-1.pdf> (accessed July 16, 2022).
- [148] S. Sánchez, V. Hidalgo, M. Velasco, D. Puga, P.A. López-Jiménez, M.P. Sánchez, Parametric study of a horizontal axis wind turbine with similar characteristics to those of the Villonaco wind power plant, *Journal of Applied Research in Technology & Engineering*. 2 (2021) 51–62. <https://doi.org/10.4995/jarte.2021.15056>.
- [149] Ley, Debora. "An Assessment of Energy and Water in the Galápagos Islands." Masters Project Report, University of Colorado (2003).
- [150] Y. Chen, I.G. Jensen, J.G. Kirkerud, T.F. Bolkesjø, Impact of fossil-free decentralized heating on northern European renewable energy deployment and the power system, *Energy*. 219 (2021) 119576. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119576>.
- [151] A.C. de Montecristi, Constitución de la República del Ecuador, (2008). <http://biblioteca.defensoria.gob.ec/handle/37000/823> (accessed December 15, 2021).
- [152] L.A. Paredes, Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental, 1. 16 (2019) 97-105 pp. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v16.n1.2019.340>.
- [153] G.J. Inga Pizarro, L.V. Sárata Juca, Determinación de los niveles de aceptación del uso de vehículos eléctricos en la ciudad de Loja, (2018). <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16598> (accessed July 23, 2021).
- [154] MEER apuesta por la eficiencia energética para conservar el medio ambiente – ARCONEL, (n.d.). <https://www.regulacioneolica.gob.ec/meer-apuesta-por-la-eficiencia-energetica-para-conservar-el-medio-ambiente/> (accessed August 21, 2021).
- [155] S. Golla, S.J. Gerke, Primer Estudio para una Transición Energética Completa y Sostenible para Ecuador “El Fin del Petróleo,” 1. 14 (2018) 246-265 pp. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v14.n1.2018.177>.
- [156] F.R. Arroyo M., L.J. Miguel, The Role of Renewable Energies for the Sustainable Energy Governance and Environmental Policies for the Mitigation of Climate Change in Ecuador, *Energies*. 13 (2020) 3883. <https://doi.org/10.3390/en13153883>.
- [157] U.B. Akuru, I.E. Onukwube, O.I. Okoro, E.S. Obe, Towards 100% renewable energy in Nigeria, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 71 (2017) 943–953. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.123>.
- [158] C. Cheng, A. Blakers, M. Stocks, B. Lu, 100% renewable energy in Japan, *Energy Conversion and Management*. 255 (2022) 115299. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115299>.
- [159] EPN, Mapa Solar del Ecuador, Escuela Politécnica Nacional. (2020). <https://www.epn.edu.ec/mapa-solar-del-ecuador/> (accessed July 17, 2022).
- [160] Mapas del Sector Eléctrico – ARCONEL, (n.d.). <https://www.regulacioneolica.gob.ec/mapas-del-sector-electrico/> (accessed August 31, 2020).
- [161] N. A, San Cristobal Wind Project, Galapagos Islands, Ecuador, *Power*. 152 (2008) 52–52. <https://www.cheric.org/research/tech/periodicals/view.php?seq=1029360> (accessed October 18, 2020).
- [162] D.P. Sinche Solis, D.F. Zhinin Auquilla, Análisis de aceptación del sistema de transporte bicicleta pública en la ciudad de Cuenca, (2020). <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18676> (accessed November 3, 2020).
- [163] P. Brito, J. Manuel, Análisis de factibilidad para la implementación de sistemas híbridos (Eólico-fotovoltaico) en las inmediaciones del centro patrimonial de Quingeo y zona

- arqueológica Curiquinga, (2018). <http://dSPACE.ucacue.edu.ec/handle/reducacue/8130> (accessed November 3, 2020).
- [164] S. Uzhca, Á. Bolívar, Análisis de factibilidad para el uso de la energía fotovoltaica aislada en sistemas de iluminación en la Comunidad Puntahacienda de Quingeo, Universidad Católica de Cuenca. (2018). <https://dSPACE.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7948> (accessed October 19, 2020).
- [165] D. Icaza, F. Córdova, M. Avila, Modeling and Simulation of a Solar System in the Quingeo Church in Ecuador, in: 2018 International Conference on Smart Grid (IcSmartGrid), 2018: pp. 158–163. <https://doi.org/10.1109/ISGWCP.2018.8634526>.
- [166] I.D. Jaramillo Sánchez, M.P. Sancho Taday, Análisis de consumo de energía en el edificio Cornelio Merchán de la Universidad Politécnica Salesiana, aplicación del protocolo IPMVP y evaluación de medidas de costo cero, (2019). <http://dSPACE.ups.edu.ec/handle/123456789/17385> (accessed May 30, 2021).
- [167] C. Samaniego, C. Manuel, Análisis de la factibilidad de un sistema de generación híbrido eólico-fotovoltaico, para el Mirador Turístico La Tranca del cantón Chordeleg, Universidad Católica de Cuenca. (2017). <https://dSPACE.ucacue.edu.ec/handle/ucacue/7952> (accessed April 27, 2021).
- [168] Sandoval Moscoso, Esteban Eduardo. Optimización de la red de distribución de gas licuado de petróleo (glp) en cilindros del segmento doméstico en la parroquia Calderón, cantón Quito, Ecuador. MS thesis. Quito, 2020., 2020.
- [169] F.T.M. Spieksma, H. Charpin, N. Nolard, E. Stix, City spore concentrations in the European Economic Community (EEC) IV. Summer weed pollen (Rumex, Plantago, Chenopodiaceae, Artemisia), 1976 and 1977, *Clinical & Experimental Allergy*. 10 (1980) 319–329. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2222.1980.tb02114.x>.
- [170] J. Priede, J. Neuert, Competitiveness Gap of the European Union Member Countries in the Context of Europe 2020 Strategy, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 207 (2015) 690–699. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.10.139>.
- [171] M. Ali, R. Wazir, K. Imran, K. Ullah, A.K. Janjua, A. Ulasyar, A. Khattak, J.M. Guerrero, Techno-economic assessment and sustainability impact of hybrid energy systems in Gilgit-Baltistan, Pakistan, *Energy Reports*. 7 (2021) 2546–2562. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.04.036>.
- [172] Y. Sawle, S.C. Gupta, A.K. Bohre, Socio-techno-economic design of hybrid renewable energy system using optimization techniques, *Renewable Energy*. 119 (2018) 459–472. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.11.058>.
- [173] R. Alvarado, Q. Deng, B. Tillaguango, P. Méndez, D. Bravo, J. Chamba, M. Alvarado-Lopez, M. Ahmad, Do economic development and human capital decrease non-renewable energy consumption? Evidence for OECD countries, *Energy*. 215 (2021) 119147. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119147>.
- [174] EnergyPLAN, Get Started, (n.d.). <https://www.energyplan.eu/getstarted/> (accessed November 1, 2021).
- [175] G. Barone, A. Buonomano, F. Calise, C. Forzano, A. Palombo, Building to vehicle to building concept toward a novel zero energy paradigm: Modelling and case studies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 101 (2019) 625–648. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.11.003>.
- [176] N.B. Arias, S. Hashemi, P.B. Andersen, C. Træholt, R. Romero, Distribution System Services Provided by Electric Vehicles: Recent Status, Challenges, and Future Prospects, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. 20 (2019) 4277–4296. <https://doi.org/10.1109/TITS.2018.2889439>.
- [177] Zhou, Lirong, et al. "Energy consumption model and energy efficiency of machine tools: a comprehensive literature review." *Journal of Cleaner Production* 112 (2016): 3721–3734.
- [178] O.O. Franco Arias, Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial e Índice de Desarrollo Humano Sostenible: análisis de correlación: caso de los municipios de la Provincia del Guayas, Ecuador (2001-2016), TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). (2019). <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/130005> (accessed August 20, 2022).

- [179] Kittner, Noah, Felix Lill, and Daniel M. Kammen. "Energy storage deployment and innovation for the clean energy transition." *Nature Energy* 2.9 (2017): 1-6.
- [180] Cuenca Sostenible by BID - Ciudades Sostenibles - Issuu, (n.d.). https://issuu.com/ciudadesemergentesysostenibles/docs/cuenca_sostenible (accessed September 14, 2022).
- [181] P.A. Østergaard, Reviewing EnergyPLAN simulations and performance indicator applications in EnergyPLAN simulations, *Applied Energy*. 154 (2015) 921–933. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.086>.