

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Ingeniería En Mantenimiento Eléctrico

**ANÁLISIS DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO: ESTADO ACTUAL Y
PERSPECTIVAS**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento
Eléctrico

Autor:

DENNYS DAVID TUZA CHAMORRO

TUTOR:

MSc. ELIANA CAROLINA ORMEÑO MEJÍA

Ibarra – Ecuador

Octubre 2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004387120		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Tuza Chamorro Dennys David		
DIRECCIÓN:	Pugacho Alto Las Lajas y San Luis		
EMAIL:	ddtuzac@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0991292183

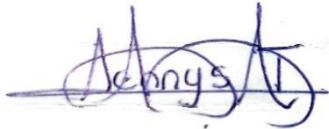
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS
AUTOR (ES):	Tuza Chamorro Dennys David
FECHA: DD/MM/AAAA	04/10/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Eliana Ormeño

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 04 días del mes de octubre de 2021

EL AUTOR:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Dennys David', with a stylized flourish at the end.

Tuza Chamorro Dennys David

1004387120



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

MSc. Eliana Ormeño

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: Tuza Chamorro Dennys David, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración de investigación titulado: **“ANÁLISIS DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO: ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS”**. Para la obtención de título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico; aprobado la defensa, impresión y empastado.

MSc. Eliana Ormeño
Director de tesis

DEDICATORIA

Esta tesis se la dedico a mis papas, por haber sido el pilar fundamental para conseguir este logro académico, ya que con su esfuerzo y dedicación diaria siempre estuvieron pendientes de mi educación.

A mis hermanos Tiffany y Matías, quienes fueron mi inspiración para superarme día a día y luchar por mis ideales.

A mi tía Carmita Chamorro, por estar siempre pendiente en todo el transcurso de mi carrera universitaria, brindándome su apoyo constante.

A mis compañeros de clase, que me han compartido su conocimiento y amistad, además de momentos de alegría y tristeza en todo este tiempo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, quien me ha forjado mi camino y me ha dirigido por el sendero correcto, además de darme las fuerzas necesarias para poder graduarme.

De manera especial deseo expresar mi más sincero sentimiento de gratitud a mi tutora, MSc. Eliana Ormeño, que gracias a su gran vocación como docente me supo guiar para la culminación de este trabajo de grado.

A la Universidad Técnica del Norte, por todas las vivencias que experimente en todo el transcurso de mi carrera académica. Además de todos mis docentes, por compartirme de sus amplios conocimientos y valores.

A toda mi familia, que estuvieron pendientes en las actividades que realizaba en el transcurso de mi formación académica.

TABLA DE CONTENIDOS

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	II
CONSTANCIAS.....	III
ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
A.1. CONTEXTUALIZACIÓN	XIV
A.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	XV
A.3. JUSTIFICACIÓN.....	XVI
A.4. ALCANCE	XVI
A.5. OBJETIVO GENERAL	XVI
A.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	XVI
1. CAPÍTULO I	1
Histórico del sector eléctrico ecuatoriano hasta el año 2007.....	1
1.1 Primeras generadoras eléctricas en el país.....	1
1.2 Estructuras del sector eléctrico ecuatoriano	2
1.2.1 Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL).....	2
1.2.2 Ley del Régimen del Sector Eléctrico (LRSE)	5
1.3 Primeros avances del sector eléctrico ecuatoriano.....	8
1.3.1 Creación del Sistema Nacional Interconectado (SNI)	8
1.3.2 Construcción de las primeras grandes centrales Hidroeléctricas en el país	11
1.3.3 Construcción de las primeras centrales convencionales no renovables.....	11
1.4 Crisis energética en el país.....	12
1.5 Comparación del sector eléctrico ecuatoriano con distintos sectores Latinoamericanos en los años de inicios hasta 2007	15

2.	CAPÍTULO II	17
	El sector eléctrico ecuatoriano en los años de 2007 a 2020.....	17
	2.1 Metodología.....	17
	2.2 Nueva estructura del sector eléctrico	18
	2.2.1 Primeras acciones para un cambio en la estructura del sector eléctrico	18
	2.2.2 Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE)	20
	2.2.3 Ley Orgánica de Eficiencia Energética (LOEE).....	23
	2.3 Cambio de la matriz energética eléctrica del país.....	24
	2.4 Actualidad del sector eléctrico ecuatoriano 2020	26
	2.4.1 Generación.....	26
	2.4.2 Transmisión.....	29
	2.4.3 Distribución.....	31
	2.4.4 Costos de la electricidad	34
	2.5 Comparativa del sector eléctrico ecuatoriano con diferentes sectores eléctricos en Sudamérica en los años 2007 al 2020.	36
3.	CAPÍTULO III	38
	Perspectivas de desarrollo del sector eléctrico ecuatoriano	38
	3.1 Metodología.....	38
	3.2 Integración de nuevas centrales de generación eléctrica.....	38
	3.3 Redes inteligentes	40
	3.4 Movilidad eléctrica	42
	3.5 Redes de corriente continua en alta tensión (HVDC)	43
	3.5.1 Conexión de sistemas asíncronos.....	43
	3.5.2 Transmisión de energía en largas distancias por medio de cables subterráneos o submarinos.....	43
	3.5.3 Estabilidad transitoria de los sistemas.....	44
	3.5.4 Líneas de transmisión con menor impacto ambiental	44
	3.5.5 Ventajas económicas para el uso de sistemas HVDC	44

3.5.6 Análisis de resultados.....	44
3.6 Comparación de las perspectivas de desarrollo con diferentes países Latinoamericanos.....	45
CONCLUSIONES.....	47
RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Funciones e instituciones que conformaba el INECEL	3
Fig. 2. Precios promedio de las centrales eléctricas en Ecuador ¢USD/kWh	5
Fig. 3. Pérdidas de energía en el proceso de transición de estructuras	6
Fig. 4. Evolución de la tarifa eléctrica en los años de transición del sector eléctrico en ¢USD	6
Fig. 5. Estructura del sector eléctrico ecuatoriano según la LRSE	7
Fig. 6. Sistema Nacional Interconectado hasta el año 1985	10
Fig. 7. Caudal histórico del río Paute en m ³ /s	13
Fig. 8. Generación eléctrica en el Ecuador: período 1991-2008	14
Fig. 9. Evolución de la energía eléctrica generada en Sudamérica	16
Fig. 10. Comparativo de costos de la electricidad	16
Fig. 11. Nuevo modelo del sector eléctrico ecuatoriano	23
Fig. 12. Crecimiento de la generación de potencia eléctrica	28
Fig. 13. Crecimiento del sistema de transmisión	30
Fig. 14. Sistema Nacional Interconectado año 2019	31
Fig. 15. Número de clientes según la empresa distribuidora comparación del crecimiento en 10 años	33
Fig. 16. Histórico de los precios promedios de compra de energía en el ámbito mayorista, 1999 - 2020	34
Fig. 17. Precios medios de las Transacciones Internacionales de Electricidad (TIE) con Colombia 2003 – 2020	35
Fig. 18. Precios medios de las Transacciones Internacionales de Electricidad (TIE) con Perú 2003 – 2020	35
Fig. 19. Evolución de la potencia instalada (MW) y energía bruta anual generada (GWh) ..	37

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1. Resultados del primer censo eléctrico hecho en Ecuador	3
TABLA 1.2. Cifras eléctricas en Ecuador hasta el año 1973	4
TABLA 1.3. Potencia instalada hasta el año 1989.....	4
TABLA 1.4. Primeras centrales conectadas al SNI	9
TABLA 1.5. Primeras grandes centrales hidroeléctricas.....	11
TABLA 1.6. Primeras centrales térmicas en el país	12
TABLA 2.1. Unidades estratégicas CELEC EP	20
TABLA 2.2. Estructura del sector eléctrico ecuatoriano según la LOSPEE	21
TABLA 2.3. Proyectos emblemáticos de generación eléctrica.....	25
TABLA 2.4. Potencia nominal según el tipo de fuente de energía	27
TABLA 2.5. Longitud de líneas de transmisión por nivel de voltaje	29
TABLA 2.6. Líneas de interconexión para la transmisión de energía	29
TABLA 2.7. Indicadores de infraestructura.....	32
TABLA 3.1. Secuencia de entrada de proyectos caso base vs caso matriz productiva	39

RESUMEN

Actualmente, el sector eléctrico ecuatoriano está considerado como un área estratégica en el país. Esto requiere una inversión constante del Gobierno en recursos, como infraestructura, tecnología, talento humano, equipamiento, etc. El crecimiento que han tenido las energías renovables y las nuevas tendencias tecnológicas en el ámbito eléctrico, han significado desafíos para desarrollar políticas, leyes y planes estratégicos a fin de adaptarse a estos cambios. Con el fin de dar a conocer las principales acciones que se han venido desarrollando, en el presente trabajo se analiza el sector eléctrico ecuatoriano, estado actual y perspectivas de desarrollo mediante la recopilación de información y comparación con sectores eléctricos en Latinoamérica, que sirva como referencia para posteriores investigaciones. La información analizada ha sido tomada de las principales instituciones que trabajan constantemente para el desarrollo de un sector eléctrico, así como también de trabajos de investigación referentes al tema, esto tanto a nivel nacional como en Latinoamérica. El sector eléctrico ecuatoriano comparado con el chileno desde los inicios de ambos sectores se apostaba más por la generación de electricidad con energía hidráulica, esto con el tiempo y la crisis económica de los 80 que afectó a varios países Latinoamericanos provocó que el crecimiento de la energía térmica aumentara sobrepasando así a la energía hidráulica hasta 2007 en los dos países. Desde 2007 en adelante en países como Perú y Ecuador se emitió políticas que promueven la inversión sobre la generación eléctrica con fuentes renovables, esto sirvió para que actualmente se apueste más por el uso de las energías renovables en ambos países, así como también en la mayoría de países Latinoamericanos. Con la integración de más generadoras de energía renovable a las redes eléctricas en los diferentes países de la región, en la mayoría se ha incursionado en las redes inteligentes y todo lo que este cambio conlleva como perspectivas a futuro.

Palabras clave: sector eléctrico ecuatoriano, energías renovables, generación, transmisión distribución, cambio de la matriz energética eléctrica.

ABSTRACT

Currently, the Ecuadorian electricity sector is considered a strategic area in the country. This requires a constant investment by the government in resources, such as infrastructure, technology, human talent, equipment, etc. The growth of renewable energies and new technological trends in the electricity sector have meant challenges to develop policies, laws and strategic plans in order to adapt to these changes. For the purpose of make known the main actions that have been developed, this paper analyzes the Ecuadorian electricity sector, its current status and development prospects through the collection of information and comparison with electricity sectors in Latin America, which will serve as a reference for further research. The information analyzed has been taken from the main institutions that constantly work for the development of an electric sector, as well as from research works on the subject, both nationally and in Latin America. The Ecuadorian electricity sector compared to the Chilean one, from the beginning of both sectors, was betting more on the generation of electricity with hydraulic energy, this with time and the economic crisis of the 80's that affected several South American countries caused the growth of thermal energy, thus surpassing hydraulic energy until 2007 in both countries. From 2007 onwards in countries such as Peru and Ecuador policies were issued to promote investment in electricity generation with renewable sources, this served to increase the use of renewable energies in both countries, as well as in most Latin American countries. With the integration of more renewable energy generators to the electrical grids in the different countries of the region, most of them have made incursions into smart grids and all that this change entails as future perspectives.

Key words: Ecuadorian electricity sector, renewable energies, generation, transmission, distribution, change of the electrical energy matrix.

INTRODUCCIÓN

A.1. CONTEXTUALIZACIÓN

La electricidad ha estado presente en la actividad de los seres humanos desde la más remota antigüedad, hoy en día en los países desarrollados es imprescindible y tiene infinidad de usos (J. González, 2015). El sistema eléctrico global es una red compleja de fuentes de energía que representa el transporte, almacenamiento, distribución y uso final, el mismo que ha ido evolucionado constantemente para satisfacer la creciente demanda existente y responder a las necesidades económicas, sociales y aspectos de restricciones ambientales (Louie, 2018). Según (Marulanda Rendon, 2020), “uno de los objetivos establecidos por Naciones Unidas es lograr el acceso universal a la electricidad en el año 2030”.

El sistema eléctrico global está marcado por una serie de discrepancias como por ejemplo, la brecha existente entre la promesa de dar energía para todos y el hecho de que casi mil millones de personas siguen sin tener acceso a la electricidad, como también, las evidencias científicas, que muestran la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y los datos que revelan que las emisiones relacionadas con la energía alcanzaron otro récord histórico en 2018 (Anna et al., 2019).

En América Latina, ya que se tiene una menor participación con respecto a los combustibles fósiles en comparación al promedio global, sitúan a la región en ventaja para la transformación a una economía de bajo carbono. Aproximadamente un 70% de la demanda de electricidad en la región proviene de combustibles fósiles, mientras que, en el mundo, ese promedio es de 82% (Vasconcellos, 2016). Para que estos porcentajes bajen, la transición a un sistema que conste de energía 100% fundamentada de fuentes renovables, plantea cuestiones no solamente técnicas, sino también institucionales. El concepto de un sistema eléctrico inteligente que envuelve a las energías renovables, aborda varios desafíos técnicos en diferentes sectores, lo que también implica un cambio en las estructuras de costos, especialmente relacionados con la electricidad (Djorup et al., 2018).

La energía renovable es un área de investigación importante debido a su disponibilidad, aplicabilidad, trato amigable con el medio ambiente, y la integración de la red inteligente en energía renovable la hace sustentable y más prometedora. Esta fusión permite el uso eficiente de las energías renovables, que es un desafío clave en estos tiempos (Hossain et al., 2016). El tema energético se ha transformado en un elemento de interés a nivel internacional por la importancia estratégica de asegurar que el suministro eléctrico sea sustentable y provechoso de forma amigable con el medio ambiente. Por lo cual se han desarrollado varias acciones enfocadas a relacionar y comprometer a los países, para así lograr el objetivo de la protección del medio ambiente (Correa et al., 2016).

En Ecuador, ya que dispone de recursos naturales abundantes, sobre todo, los hídricos, el uso eficiente de los recursos energéticos es la mejor medida costo-efectiva a corto y mediano plazo para cuidar el medioambiente y preservar los recursos no renovables, y, a la vez, para reducir de manera significativa las emisiones de CO₂, entre otros gases de efecto invernadero (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2017). Según (ARCONEL, 2015), “Ecuador es un referente mundial, figurando como quinto en seguridad energética – según un informe de la Universidad de Vancouver-, y destacándose por sus ingentes esfuerzos en materia de la construcción de sus ocho proyectos hidroeléctricos”. En la actualidad es evidente el cambio de la matriz energética eléctrica en el país, esto gracias a las grandes obras emblemáticas propuestas por el Gobierno de la revolución ciudadana, la mayoría de ellas ya en funcionamiento, por esta razón Ecuador se ha convertido en un país exportador de energía (Loaiza, 2018). En medida que estos proyectos entran en funcionamiento, se nivela la oferta del servicio con base en la demanda, suprimiendo parte de las importaciones de derivados de petróleo y electricidad de alto costo proveniente de países vecinos (Escobar et al., 2017). Para no depender tanto de los combustibles fósiles y reducir las emisiones de CO₂ también se ha visto opciones como la movilidad eléctrica, pero la adopción de la misma presenta nuevos retos a futuro en tanto a la parte de la generación de energía que se va a necesitar para satisfacer esta demanda en caso de que se implemente de forma exitosa (Barahona, 2017).

La adopción también de tecnologías de red inteligente es clave para transformar la red eléctrica ecuatoriana e impactar positivamente la calidad del suministro eléctrico. El futuro del sector eléctrico ecuatoriano depende de la implementación exitosa de la nueva Ley Orgánica de Servicio Público de Electricidad y sobre el financiamiento externo para nuevos proyectos energéticos (Ponce et al., 2018). Ya que como menciona Senplades (2017), “Como meta en Ecuador se va a incrementar de 68,8% al 90% la generación eléctrica a través de fuentes de energías renovables a 2021”.

A.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sector eléctrico ecuatoriano ha realizado cambios en su matriz energética, debido a esto se debe adaptar a temas como; nuevas energías y la integración de redes inteligentes que es un reto actualmente en el país y en otros países de Latinoamérica, ya que este proceso conlleva la modernización y adaptabilidad de las redes, a nivel de región esta transición se tiene más avanzada en unos países más que en otros por lo cual es necesario comparar los sectores eléctricos.

Actualmente; en Ecuador, para el Gobierno es importante proveer una buena calidad de energía para el país, como se ha visto en los últimos años evidenciando la construcción de

centrales de generación eléctrica para satisfacer la demanda de energía, con la finalidad también de reducir la dependencia de los combustibles fósiles y las emisiones de CO₂, por lo que se ha tomado en cuenta incluso otras opciones como, la integración de la movilidad eléctrica.

A.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se enfocará en estudiar al sector eléctrico ecuatoriano, ya que, debido al cambio de la matriz energética y los requerimientos de adaptabilidad que esto conlleva, el sector eléctrico se va modificando y modernizando. Así, el presente trabajo permitirá mostrar el estado actual y las perspectivas de desarrollo del sector eléctrico ecuatoriano para adaptarse a temas como; nuevas energías, la integración de redes inteligentes y movilidad eléctrica, ya que todas estas mejoras ayudan a cambiar la matriz productiva del país y a no depender tanto de los combustibles fósiles, además de que reducen las emisiones de Co₂.

A.4. ALCANCE

El presente trabajo de grado está basado en una investigación de carácter analítico referente al sector eléctrico ecuatoriano, donde se analiza la historia del mismo hasta el año 2007 y desde el 2007 al 2020 se estudia los cambios que tuvieron lugar entre estas fechas, además del 2020 en adelante se examinan temas como; la construcción de centrales eléctricas, redes inteligentes y movilidad eléctrica como perspectivas de desarrollo, a partir de conceptos relacionados y también mediante comparativas del sector eléctrico ecuatoriano con al menos dos países de Latinoamérica.

A.5. OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis del sector eléctrico ecuatoriano, estado actual y perspectivas de desarrollo mediante la recopilación de información y comparación con sectores eléctricos en Latinoamérica, que sirva como referencia para otras investigaciones.

A.6. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar un análisis histórico del sector eléctrico ecuatoriano hasta el año 2007.
2. Analizar el sector eléctrico ecuatoriano del año 2007 al 2020.
3. Analizar las perspectivas de desarrollo del sector eléctrico ecuatoriano.

1. CAPÍTULO I

Histórico del sector eléctrico ecuatoriano hasta el año 2007

En el siguiente capítulo se tiene como finalidad dar a conocer la historia del sector eléctrico ecuatoriano desde sus inicios hasta el año 2007, analizando todos los cambios y avances de importancia existentes, que ayudaron al crecimiento y mejoramiento del mismo, así también se hace la comparación de los sectores eléctricos en este período con diferentes países Latinoamericanos.

1.1 Primeras generadoras eléctricas en el país

Se puede decir que los primeros inicios de generación eléctrica en Ecuador se dieron en las ciudades de Quito y Loja. En esta última, en el año 1897 se realizó la puesta en marcha de dos turbinas hidráulicas de 12 kW cada una, las cuales fueron instaladas en el río Malacatos, dando así lugar a la creación de la Sociedad de Luz Eléctrica, que tenía como objetivo generar y comercializar la energía producida (Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A., 2018). Para la construcción de la central de generación, después de largas conversaciones con los accionistas, se designó a Alberto Rhor para finiquitar el proyecto. No fue hasta el año 1899 en donde se inauguró y se iluminó la ciudad de Loja (Briceño et al., 2011).

Por su parte en Quito al igual que en Loja en el año 1897, se logró importar una central de 200 kW, que se instaló en el sector de Piedrahita junto al río Machángara, lo que dio paso también a la creación de la empresa “La Eléctrica” con el fin de proveer luz y fuerza a la ciudad (Empresa Eléctrica Quito, 2015).

Años después en Cuenca se instaló en 1914 una planta de 37.5 kW, que se amplió en 1922 hasta 102 kW para dotar de energía a la ciudad. Posteriormente, en 1926 el Gobierno de Ecuador contrató los servicios de la empresa Forieng Power Co. para brindar el servicio eléctrico a Guayaquil, y realizar proyectos eléctricos similares para ciudades como; Quito, Riobamba, entre otras (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2018b).

Mediante la Ley de Régimen Municipal por las fechas de 1940 hasta 1961 se otorgó a los municipios ser responsables del suministro eléctrico, ya que se instalaron masivamente pequeñas centrales de generación, que hasta 1961 entre todas se contaba con una potencia total de aproximadamente 120 MW en todo el país. En la duración de este período el sector eléctrico se dirigía sin ninguna planificación técnica ni económica y bajo las decisiones de cada municipio, esto se dio más que todo al no existir una política global a nivel de país que oriente a la gestión municipal dándole un marco legal que defina y normé sus actividades (H. Flores, 1995).

1.2 Estructuras del sector eléctrico ecuatoriano

En el año 1961 mediante la Ley Básica de Electrificación (LBE) se creó al Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL) con el objetivo de unificar el sector eléctrico y elaborar un Plan Nacional de Electrificación que satisficiera la demanda de energía eléctrica del país, con base en el Plan de Desarrollo Económico y Social del Ecuador. No fue hasta después de 38 años de vida institucional que, por medio de la publicación de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE) en 1996, se dio de baja al INECEL 3 años después en 1999, año en el que se crearon nuevas entidades que cumplían una función específica dentro del sector eléctrico (Peláez et al., 2007).

1.2.1 Instituto Ecuatoriano de Electrificación (INECEL)

El INECEL tuvo como propósito principal la construcción del Sistema Eléctrico Nacional Interconectado (SNI) y el desarrollo de grandes proyectos de generación eléctrica especialmente los que se relacionan con los recursos hídricos del país con el fin, de reducir la dependencia de empresas eléctricas extranjeras que generaban energía térmica que era mucho más costosa (Anchundia Santana et al., 2018).

En la Fig. 1 se observa al INECEL como una estructura monopólica, ya que tenía a cargo todo el sector eléctrico ecuatoriano lo que comprende generación, transmisión, distribución y comercialización además de que planificaba, regulaba, controlaba y administraba el mismo.

Para una mejor gestión se dividió al sector eléctrico en dos grandes partes: la de generación y transmisión para ser administrada por la misma institución y, la distribución y comercialización se la dejó en manos de las diecisiete empresas distribuidoras organizadas como sociedades anónimas (CENACE, 2015).

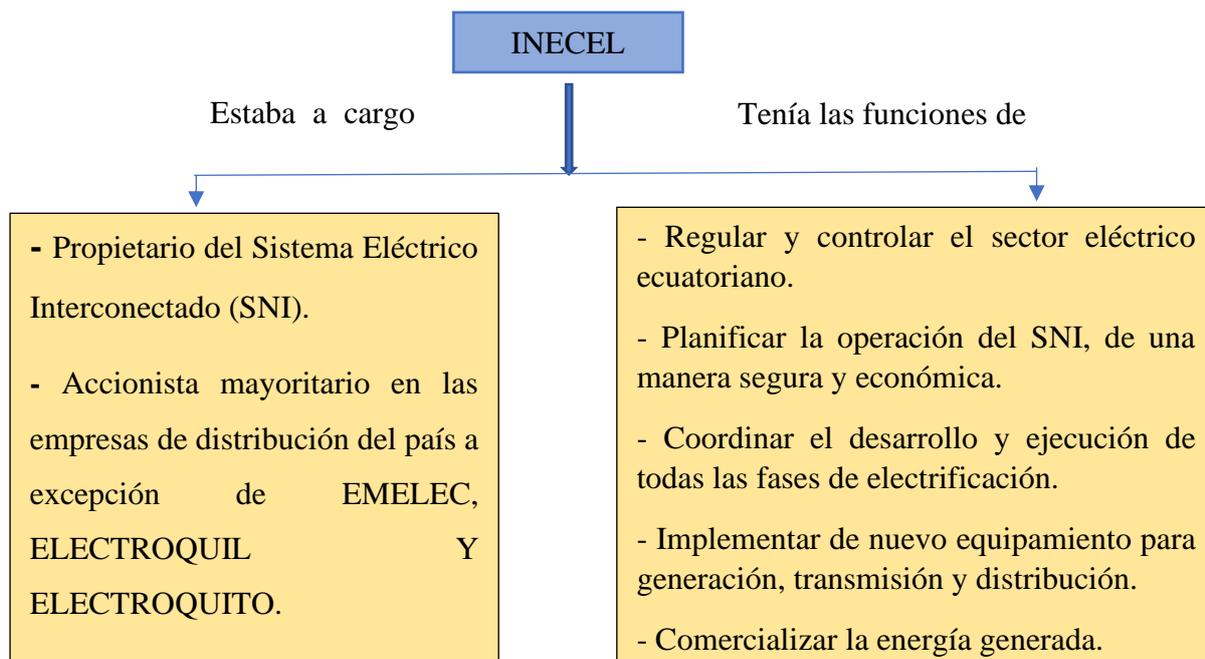


Fig. 1. Funciones e instituciones que conformaba el INECEL

Fuente: (Bedón, 1998)

Durante los años de 1962 a 1972 el INECEL inicio la recopilación de datos hidrológicos, para así planificar la construcción de hidroeléctricas que satisfagan la demanda de energía eléctrica en el país. En el año 1962 también se realiza el primer Censo Nacional de Electrificación que tuvo los resultados que se muestran en TABLA 1.1, y con lo que se elaboró el primer Plan Maestro de Electrificación, el cual tenía como objetivos (INECEL, 1978):

1. La integración de los sistemas regionales.
2. La creación del Sistema Nacional Interconectado (SNI).
3. El desarrollo de un programa de electrificación rural.

TABLA 1.1.
RESULTADOS DEL PRIMER CENSO ELÉCTRICO HECHO EN ECUADOR

Resultados del primer censo eléctrico
164,7 MW Instalados
534 GWh Generados
5,33 millones de habitantes
100,19 kW por habitante

Fuente: (F. Flores, 2011)

En el período de 1973 a 1977 se inició la construcción de las primeras grandes centrales de generación eléctrica, dando así paso a la operación del Sistema Nacional Interconectado

en el año 1977 y teniendo hasta 1973 las siguientes cifras eléctricas que se observan en la TABLA 1.2 donde se puede notar que la potencia instalada desde 1962 hasta 1973 casi se duplico después de 11 años (CENACE, 2015).

TABLA 1.2.

CIFRAS ELÉCTRICAS EN ECUADOR HASTA EL AÑO 1973

Sector eléctrico en 1973
302 MW Instalados
1086GWh Generados
6,63 millones de habitantes
162,90 kW por habitante

Fuente:(F. Flores, 2011)

Se puede decir que el mejor período durante la administración del INECEL fue desde el año de su creación hasta 1980, debido a la construcción de los grandes proyectos hidroeléctricos desarrollados como Paute, Agoyán, Pisayambo, además del Sistema Nacional Interconectado (Anchundia Santana et al., 2018).

Como se observa en la TABLA 1.3, el porcentaje de potencia instalada hasta el año 1989 tanto en energía térmica como hidroeléctrica estaban casi en igual condición.

TABLA 1.3.

POTENCIA INSTALADA HASTA EL AÑO 1989

Tipo de energía	Potencia	Porcentaje [%]
Hidroeléctrica	898 MW	51,5
Térmica	843 MW	48,5
Total	1741 MW	100

Fuente: (Rodríguez, 1990)

Al llegar los años 90, el sector eléctrico decayó notablemente debido a la falta de inversión y la disminución de caudal del río Paute, que era el que abastecía la mayor demanda eléctrica en el país, por esta razón había muchos apagones que duraban incluso horas, lo que significaba pérdidas para el estado, ya que debían entrar en funcionamiento las centrales térmicas y el costo de este tipo de energía era más elevado, como se muestra en la Fig. 2 (Anchundia Santana et al., 2018).

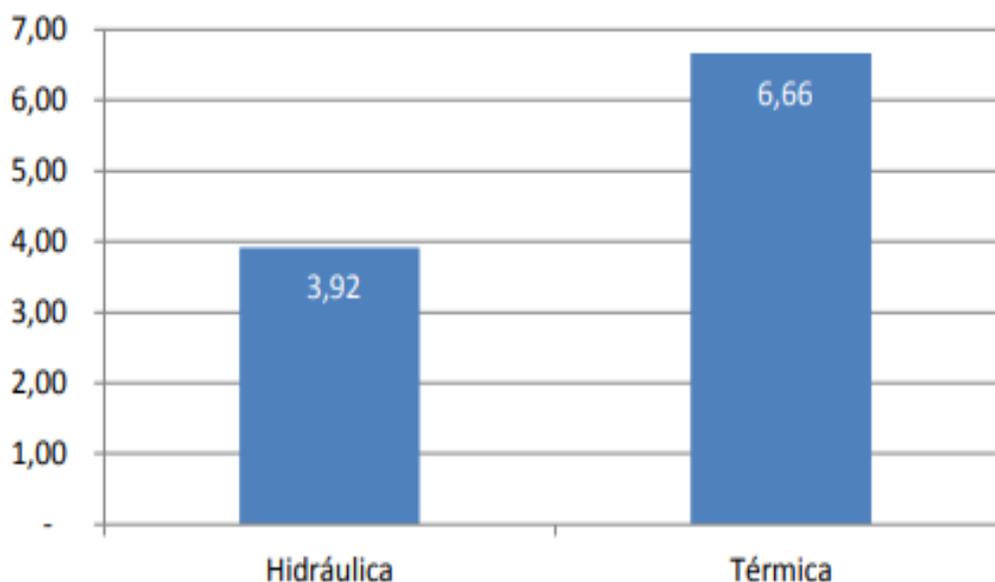


Fig. 2. Precios promedio de las centrales eléctricas en Ecuador ¢USD/kWh

Fuente: (F. Flores, 2011)

1.2.2 Ley del Régimen del Sector Eléctrico (LRSE)

La Ley de Régimen del Sector Eléctrico (LRSE), publicada el 10 de octubre de 1996 en el Registro Oficial No.43 (Suplemento), plantea como objetivo: proporcionar al país un servicio eléctrico de alta calidad y confiabilidad para garantizar el desarrollo económico y social del país, dentro de un marco de competitividad en el mercado de producción de electricidad, orientado a precautelar los derechos de los usuarios partiendo de un serio compromiso de preservación del ambiente (CONELEC, 2010).

Mediante esta Ley en 1999 se encargó al Ministerio de Energía y Minas dar la liquidación al INECEL, con la finalidad de brindar una mejor calidad de servicio para el país, así cambiando la estructura del sector eléctrico ecuatoriano (Tacle, 2017).

En esta transición denominada “destrucción-creadora” se avanzó sin importar los costos sociales como despidos o menor gasto social. En el caso del sector eléctrico la liquidación del INECEL era evidente, las pérdidas de energía casi triplicaban las sugeridas para un sistema de estas características como se puede observar en la Fig. 3, mientras las tarifas del servicio eléctrico se mantenían controladas a conveniencia del partido de turno, esto se muestra en la Fig. 4 (Flores Taipe, 2011).

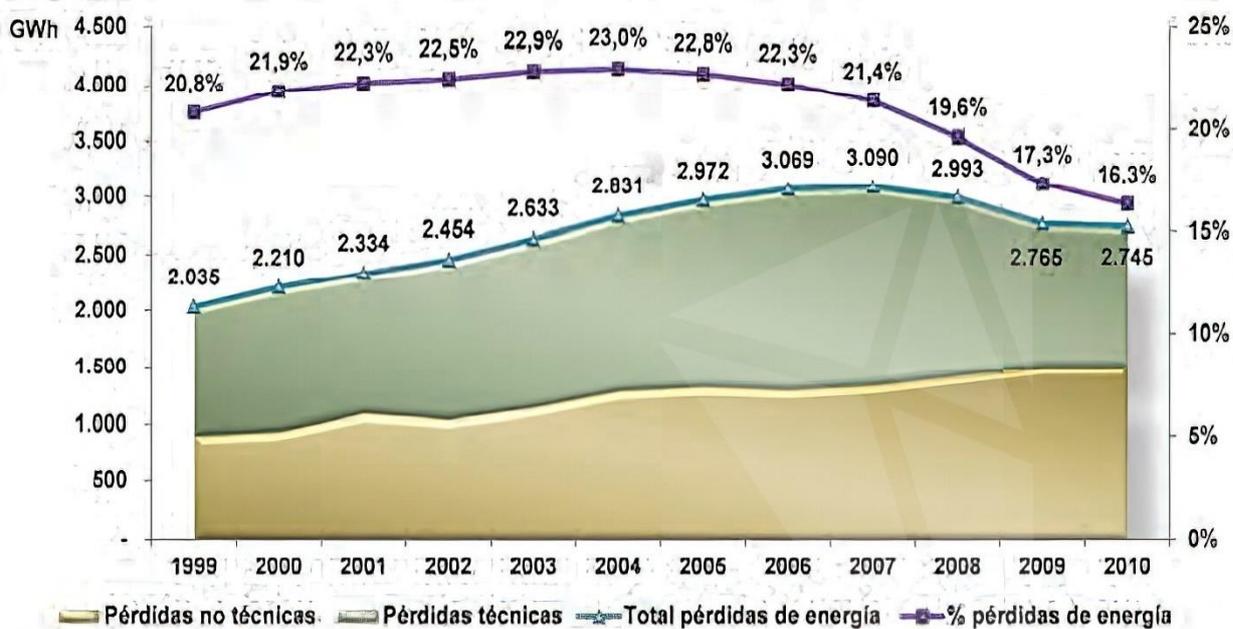


Fig. 3. Pérdidas de energía en el proceso de transición de estructuras

Fuente: (CONELEC, 2010)

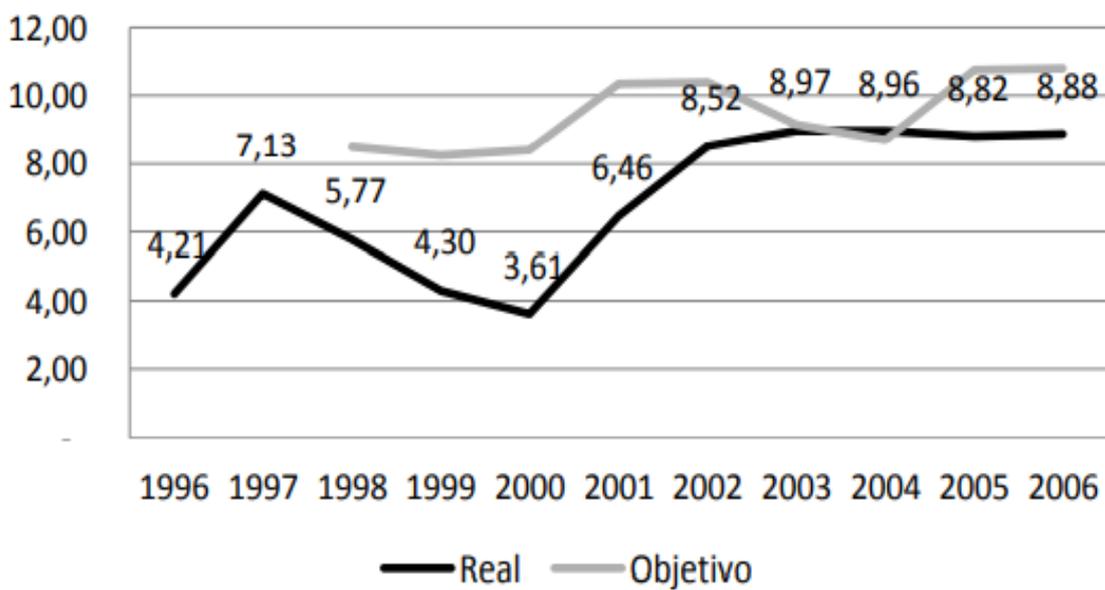


Fig. 4. Evolución de la tarifa eléctrica en los años de transición del sector eléctrico en ¢USD

Fuente: (CONELEC, 2009)

Con la LRSE la empresa privada jugaba un rol importante, por lo que la primera acción fue la transformación de las empresas públicas en sociedades anónimas. Con esto sería más fácil lograr la venta de acciones a inversionistas privados los que tendrían que inyectar dinero para mejorar la eficiencia de las empresas. Al inicio la Ley garantizaba la mayoría accionarial del Estado, sin embargo, esto redujo el atractivo de las compañías, por lo que, a través de una reforma legal, en 1999 se incrementó la participación del sector privado hasta el 51% de las acciones (Revista Ekos, 2004).

Según la LRSE, el sector eléctrico se estructuró como se observa en la Fig. 5, donde se puede notar, que desde la presidencia de la república se dirige a las nuevas instituciones creadas, estas son:

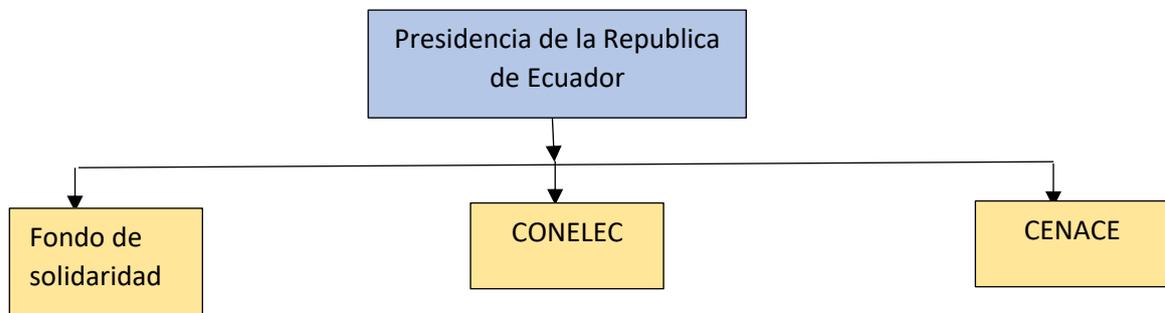


Fig. 5. Estructura del sector eléctrico ecuatoriano según la LRSE

Fuente: Autor

Fondo de solidaridad: Institución que administraba a las empresas encargadas de generación, transmisión y distribución de energía hasta su posterior venta (Murillo, 2005).

El fondo de solidaridad estaba constituido por:

- Empresas de Generación: Hidropaute S.A., Hidroagoyán S.A., Hidropucará S.A., Termoesmeraldas S.A., Termopichincha S.A., Electroguayas S.A
- Empresas de transmisión: Transelectric S.A
- Empresas de distribución: Se encargaban de permitir el libre acceso de terceros a la capacidad de transmisión, transformación y distribución de sus sistemas, como se especifica en los términos de la Ley de Régimen de Sector Eléctrico.

CONELEC: Institución que se encargaba de regular, controlar, planificar planes de desarrollo de la energía eléctrica y definir las planillas, no ejercía actividades de empresariales en el sector eléctrico ecuatoriano (CNE, 1996).

CENACE: Institución que se encargaba de administrar al mercado eléctrico mayorista así debiendo, resguardar las condiciones de seguridad de operación del Sistema Nacional Interconectado responsabilizándose por el abastecimiento de energía al mercado, al mínimo costo posible, preservando la eficiencia global del sector y creando condiciones de mercado para la comercialización de energía eléctrica por parte de las empresas generadoras, sin ninguna discriminación entre ellas, facilitándoles el acceso al sistema de transmisión (CNE, 1996).

1.3 Primeros avances del sector eléctrico ecuatoriano

Desde el inicio del sector eléctrico ecuatoriano se tuvo los primeros avances en infraestructura eléctrica del mismo, lo que ha sido fundamental para su evolución, en una primera instancia entre estos avances se tiene la creación del Sistema Nacional Interconectado (SNI) que permitió conectar las diferentes ciudades del país con energía eléctrica y hacer que el acceso a la electricidad sea un poco más fácil para el sector rural donde el porcentaje de electrificación era casi nulo, esto fue complementado con las primeras grandes centrales de generación que entraron en funcionamiento y son de gran importancia hasta el día de hoy, estas fueron tanto de fuentes de energía renovables así también como de energía no renovable y que se construyeron con el fin de satisfacer la demanda eléctrica del país.

1.3.1 Creación del Sistema Nacional Interconectado (SNI)

Con base en el primer Plan Maestro de Electrificación desarrollado por el INECEL, se inician las obras para la construcción del Sistema Nacional Interconectado, esto con la premisa de que los lugares donde se genera la energía estaban alejados de los grandes centros de consumo, por lo que era necesario que exista un medio que transporte esta energía (Antonio, 1998).

El SNI estaba conformado por un conjunto de centrales de generación eléctrica que, en las primeras fechas de funcionamiento, se encontraban constituidas de centrales hidroeléctricas y termoeléctricas las cuales abastecían a regiones de la Sierra y Costa de Ecuador. La columna vertebral del sistema de transmisión consistía de un anillo troncal que estaba formado por líneas de 230 Kv al cual se interconectaban las centrales de generación a través de las subestaciones principales de donde salían las líneas de transmisión radiales a 138 Kv, que alimentaban a los sistemas regionales de distribución de energía (INECEL, 1992).

En el año 1974, la Dirección de Ingeniería y Construcción (DEIC), establece el inicio para la realización de los estudios de una instalación que sirva de centro de control para la

operación del Sistema Nacional Interconectado, este sería construido en Quito y se programaría el inicio de operación para 1981 (CENACE, 2015).

Las primeras centrales que conformaron al Sistema Nacional Interconectado se pueden observar en la TABLA 1.4.

TABLA 1.4.
PRIMERAS CENTRALES CONECTADAS AL SNI

Central	Potencia [MW]
Central Hidroeléctrica Pisayambo	70
Central Diesel de Quito	33
Central Térmica de Guayaquil	140
Central a Gas de Santa Rosa (Quito)	52
Central Hidroeléctrica Molino (Paute)	500
Central Térmica de Esmeraldas	125

Fuente: (INECEL, 1992)

Para el transporte de la energía eléctrica generada se disponía de un anillo central constituido por líneas de transmisión de 230 kV y líneas radiales de 138 kV. La línea de 230 kV tenía una extensión de 625 km y la de 138 kV un total de 490 km, debido a las condiciones geográficas y topográficas del país se dividió en dos zonas, la primera comprendida entre 0 y 1000 msnm y la segunda entre 1000 y 3500 msnm en la Fig. 6 se puede observar cómo estaba constituido el SNI en el año 1985 donde se muestra la gran extensión que tenía, así como también las centrales de generación eléctrica que integraban este sistema (Cuesta et al., 2009).

Con el fin de iniciar la construcción de toda la infraestructura del Sistema Nacional Interconectado INECEL adquirió las estructuras, conductores, aisladores, accesorios, herrajes y material para puestas a tierra mediante procedimientos de licitación internacional y contrato por separado un sistema de licitación internacional de obras civiles y montaje de líneas, aparte de esto para el diseño e inspección de la construcción de la líneas al inicio de la obra se contrató asesores internacionales, para así posteriormente el personal del INECEL se encargue directamente de todos estos apartados (INECEL, 1992).

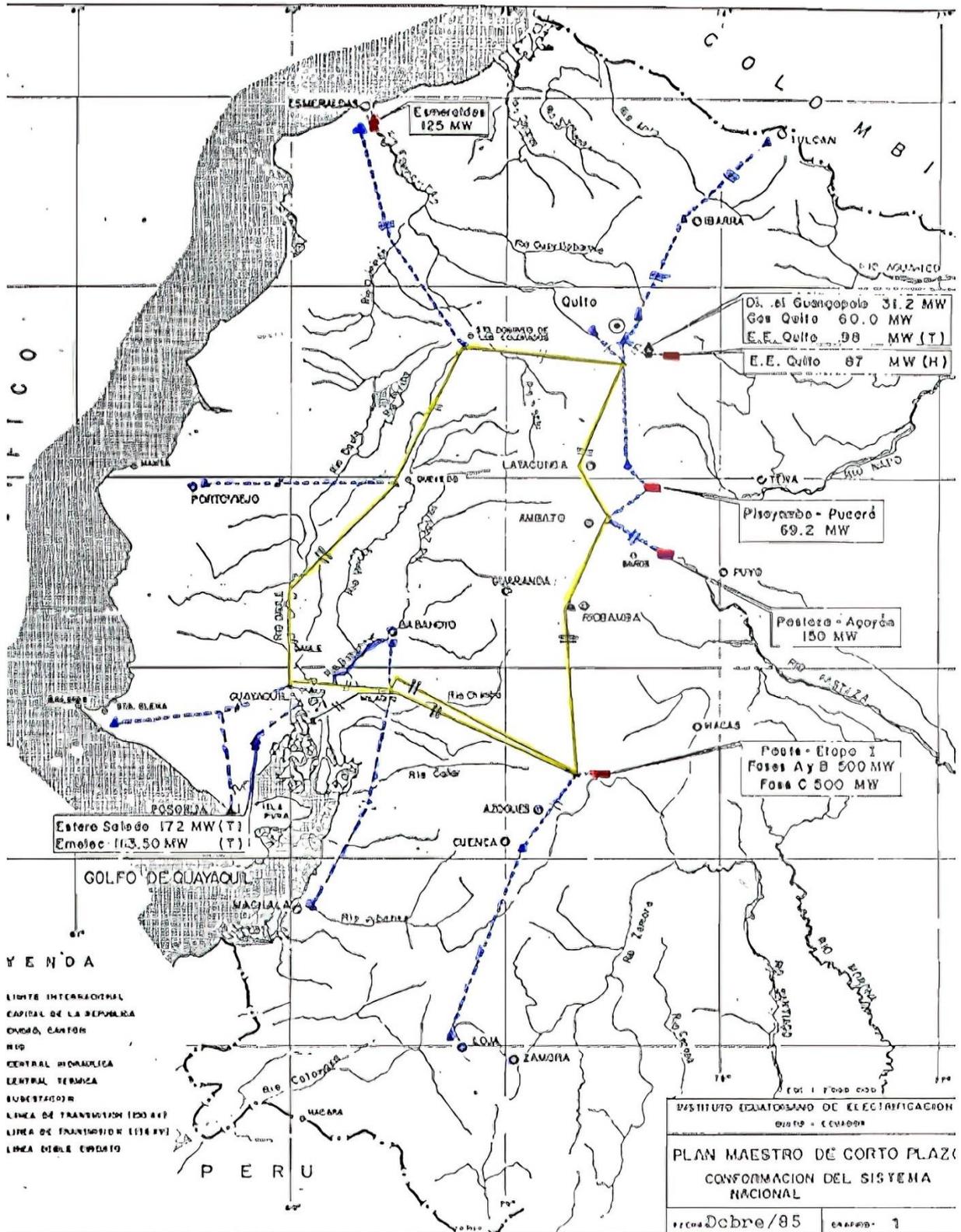


Fig. 6. Sistema Nacional Interconectado hasta el año 1985

Fuente: (Cuesta et al., 2009)

1.3.2 Construcción de las primeras grandes centrales Hidroeléctricas en el país

Con base a el primer Plan Maestro de Electrificación hecho por el INECEL, se tenía como uno de los objetivos la construcción de grandes proyectos de generación hidroeléctrica, ya que años atrás se habían hecho estudios de hidrología en los cuales se determinó los mejores lugares para este tipo de generadores. INECEL fue el gestor de las tres centrales hidroeléctricas más importantes en Ecuador: Paute, Agoyán y por último Hidronación, en la TABLA 1.5 se puede observar las primeras grandes centrales hidroeléctricas en el país. Sin embargo, la crisis económica de los 80 dejó sin recursos al sector eléctrico, lo que provocó que el resto de proyectos importantes como Mazar, Sopladora, Toachi Pilatón, Chespi y Coca Codo Sinclair sean archivados (Flores Taipe, 2011).

TABLA 1.5.

PRIMERAS GRANDES CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Empresa	Central	Inicio de operación	Energía [MW/h]
Hidroagoyán	Agoyán	1987	160
	Pucará	1977	73
Hidronación	Marcel	1999	213
	Laniado		
Hidropaute	Paute	1983	1075

Fuente: (Flores Taipe, 2011)

La hidroeléctrica Paute era una de las más grandes generadoras de energía renovable convencional en el país, ya que desde su inicio de operación en 1983 el porcentaje de energía generada que proveía esta central era de gran importancia para satisfacer la demanda eléctrica en Ecuador.

1.3.3 Construcción de las primeras centrales convencionales no renovables

Al igual que las primeras centrales hidroeléctricas que construyó el INECEL, también se construyeron grandes centrales de generación térmica, que son más costosas a diferencia de la energía producida por los generadores hidroeléctricos, y que hasta el año 1989 representaban el 48.5% de la potencia total del país en la TABLA 1.6 se pueden observar estas grandes centrales de generación térmica (Calderón et al., 2018).

TABLA 1.6.

PRIMERAS CENTRALES TÉRMICAS EN EL PAÍS

Empresa	Central	Tipo	Inicio de operación	Energía [MW/h]
TermoEsmeraldas	Termoesmeraldas	Vapor	1982	132,5
	Trinitaria	Vapor	1997	133
ElectroGuayas	Gonzalo Cevallos	Vapor/Gas	1978	146
	Enrique García	Gas	1997	102
TermoPichincha	Guangopolo	MCI	1977	33,10
	Santa Rosa	Gas	1981	51,30
Elecaastro	Monay	MCI	1971	11,60
	El Descanso	MCI	1982	19,20

Fuente: (Calderón et al., 2018)

A pesar de que la energía generada por las centrales termoeléctricas en un principio no era muy considerable con el tiempo creció hasta el punto de depender en un mayor porcentaje de este tipo de generadoras, ya que por las fechas en donde el río Paute sufrió de bajos caudales se necesitaba generar más energía con los combustibles derivados del petróleo.

1.4 Crisis energética en el país

La primera crisis que enfrentó Ecuador con respecto a la electricidad fue en los años 90, ya que el sector eléctrico no contaba con la energía necesaria para cubrir la demanda energética del país. Las causas de esta crisis fueron prácticamente, por la falta de inversión en el sector eléctrico y principalmente debido a los bajos caudales en las hidroeléctricas, teniendo como consecuencia en año de 1995 los famosos racionamientos de energía eléctrica en el país por 128 días (H. Flores, 1995).

En el río Paute donde se encontraba en ese entonces la hidroeléctrica más grande de Ecuador, en el tiempo que duro este déficit energético, se registró el más bajo caudal como se observa en la Fig. 7, y ya que esta era la principal generadora de energía eléctrica en el país no se podía llegar a la generación requerida para satisfacer la demanda de electricidad provocando así cortes de energía que duraban horas.

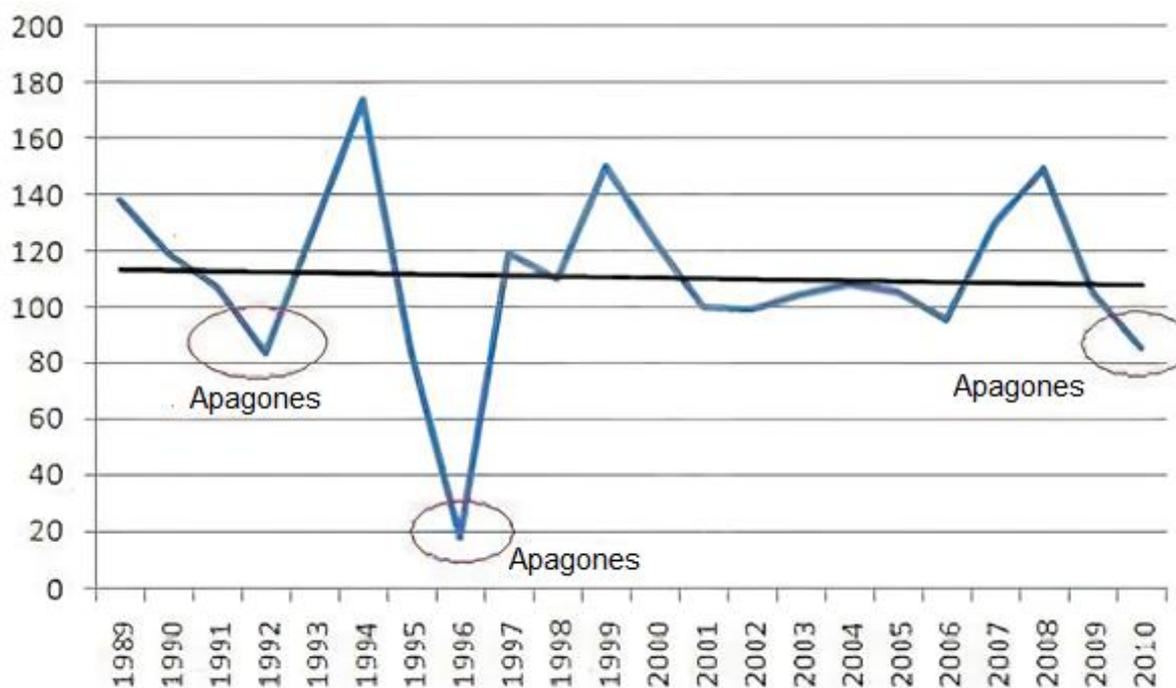


Fig. 7. Caudal histórico del río Paute en m^3/s

Fuente: (Flores Taípe, 2011)

El racionamiento de energía del año 1995 fue diferente para las provincias de la zona norte del país, tanto en Carchi como Imbabura, esto debido a que entre la Empresa Regional Norte y Colombia se hizo un convenio para la compra de 7MW, que se suministraron de 9 a.m. a 9 p.m., por lo que para estas provincias el racionamiento fue mínimo (H. Flores, 1995).

El extenso período de la crisis económica que vivió el Ecuador entre 1982 al 2006, y la aplicación de políticas neoliberales dieron paso a la reducción de la inversión pública en el sector eléctrico, resultando en una importante expansión de la generación de energía térmica como se observa en la Fig. 8; que requiere menores inversiones iniciales, pero a largo plazo resultó económicamente ineficiente y negativa para el medio ambiente (Larrea, 2012).

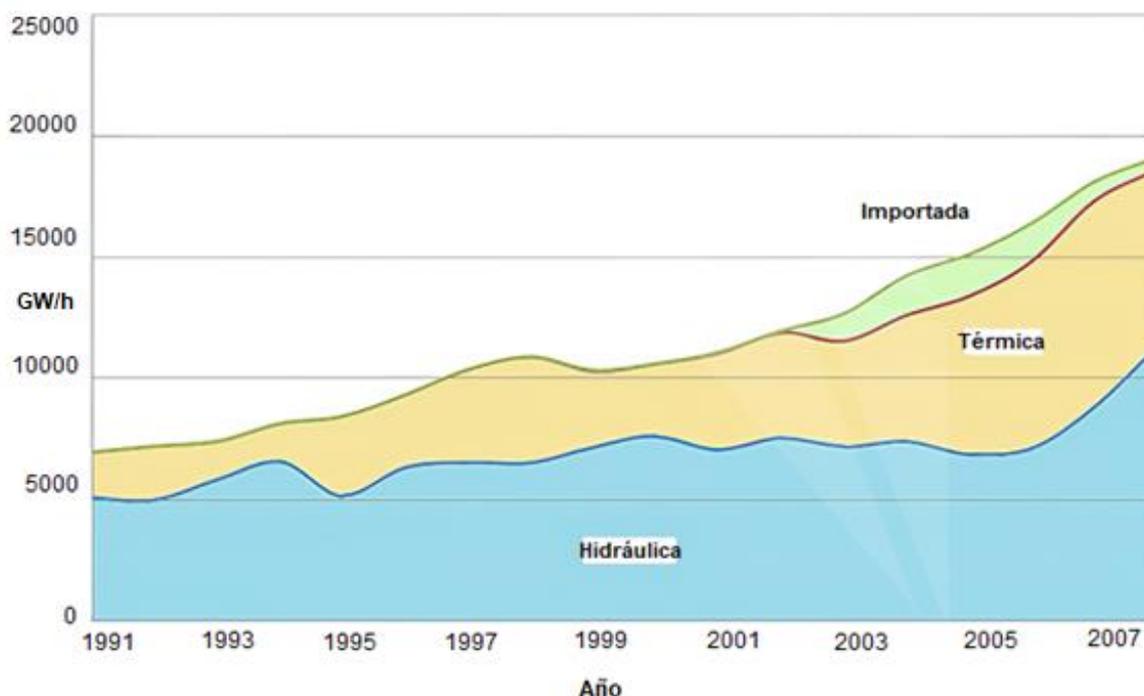


Fig. 8. Generación eléctrica en el Ecuador: período 1991-2008

Fuente: (CONELEC, 2009)

Previo a la crisis, Ecuador se disponía a ingresar a un intensivo período de industrialización para suplir las importaciones, sin embargo, este proceso quedó truncado debido a la falta de recursos necesarios para financiar a la industria naciente. Esto provocó que las previsiones de consumo de energía no alcancen los límites esperados, por lo que se sumaba una razón más para reducir los recursos del sector eléctrico (Arciniegas et al., 2010). Se requirieron cortes programados de energía durante un período largo, particularmente por las estaciones donde los caudales de los ríos eran bajos. A partir de 2007, el Gobierno de Correa reinició la inversión pública en el sector eléctrico, con énfasis en la construcción de grandes centrales hidroeléctricas, y así la participación de la generación de energía con fuentes renovables ascendió con el pasar del tiempo (Murillo, 2005).

1.5 Comparación del sector eléctrico ecuatoriano con distintos sectores Latinoamericanos en los años de inicios hasta 2007

Los comienzos de la electricidad en países como Chile y Perú emprendieron con la generación eléctrica a partir de máquinas de vapor entre estos dos países Chile tuvo la primera iniciativa en el año 1883 mientras que en Perú en 1886 se instaló una sola planta de vapor de 500 HP para iluminar las calles del centro de Lima, por las siguientes fechas en Ecuador exactamente en Loja en el año 1899 se instaló una planta de hidrogenación a diferencia de los dos anteriores países, desde ese punto todos siguieron avanzando y cambiando sus estructuras organizacionales para dirigir cada sector eléctrico (Jaramillo, 2010).

Haciendo una comparación con Chile desde los inicios de los dos sectores eléctricos, se puede decir que aunque ambos, comenzaron a funcionar con una diferencia de más 10 años desde su creación, el chileno más antiguo que el ecuatoriano, estos tuvieron avances significativos en sus inicios, como la construcción de una red que conecte los diferentes puntos de generación y así mismo de donde se pueda distribuir la energía, y también la construcción de grandes hidroeléctricas, ya que en Chile también se apostaba más por la energía hidráulica que con el tiempo y la crisis económica de los 80 que afectó a varios países sudamericanos el crecimiento de la energía térmica aumentó sobrepasando a la energía hidráulica hasta el año 2007 en ambos países (Memoria Chilena, 2018).

Según datos de la Administración de Información Energética (EIA) de Estados Unidos, la proporción de electricidad generada por combustibles fósiles en la matriz eléctrica de Chile aumentó de 37% a 61% entre 1980 y 2010; y la energía generada con fuentes renovables disminuyó su participación de 62% al 33%, así mismo paso en Ecuador, ya que la energía generada con fuentes no renovables creció más representando un 46,9% en 2006 (Rudnick, 2015). Con respecto a la potencia instalada en Chile en el año 2007 se tenía un 40.1% que era proveniente de energía renovable, mientras que en Ecuador el porcentaje de potencia nominal generada con fuentes renovables en el 2006 fue de 40.96%, sin embargo, a partir del 2007 en la presidencia de Rafael Correa se dio un punto de inflexión a esto (CONELEC, 2006) & (Comisión Nacional de Energía, 2009).

A nivel de países sudamericanos desde el año 1990 el que más energía generaba era Brasil como se puede observar en la Fig. 9, con esto se puede decir que es el país más desarrollado de Sudamérica en el campo de la electricidad, con base en esta figura se puede notar que Ecuador no tiene mayor participación, esto es porque el país es pequeño a comparación de por ejemplo Brasil y otros países de la región.

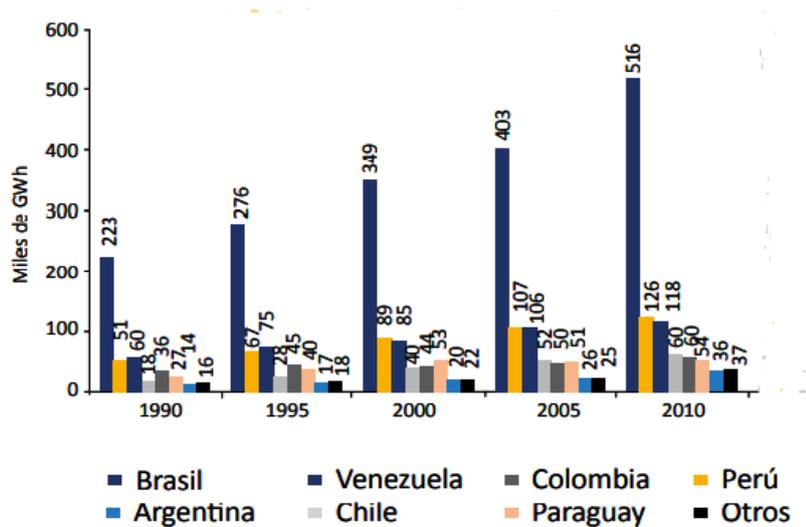


Fig. 9. Evolución de la energía eléctrica generada en Sudamérica

Fuente: (OSINERGMIN, 2016)

Otro dato importante como se puede observar en la Fig. 10 hasta el año 2002 a diferencia de algunos países Latinos Ecuador tenía un costo alto en la tarifa industrial, restando competitividad a la producción industrial al afectar directamente la estructura de costos local, lo que le restaba interés de parte de nuevos inversionistas en este campo.

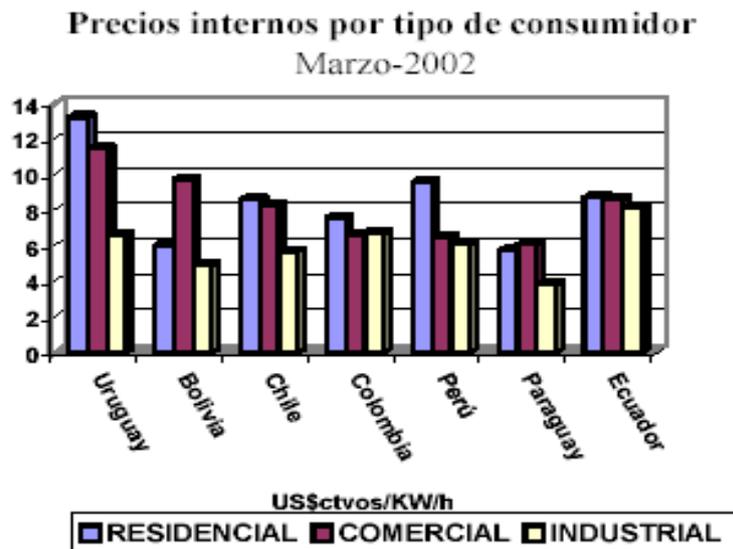


Fig. 10. Comparativo de costos de la electricidad

Fuente: (CEPAL, n.d.)

2. CAPÍTULO II

El sector eléctrico ecuatoriano en los años de 2007 a 2020

En el siguiente capítulo se tiene como finalidad dar a conocer un histórico del sector eléctrico ecuatoriano desde el año 2007 hasta 2020, analizando todos los cambios y avances de importancia que sucedieron en este período y que ayudaron al crecimiento y mejoramiento del mismo. Así también, se hace la comparación de los sectores eléctricos en los años de estudio con diferentes países Latinoamericanos.

2.1 Metodología

Para desarrollar el siguiente análisis acorde con lo establecido en el segundo objetivo específico y tener los resultados esperados, se ha seguido la siguiente metodología en la cual constan los pasos descritos a continuación:

- Se examinó la información disponible que brindan las principales instituciones públicas que trabajan constantemente para el desarrollo del sector eléctrico ecuatoriano tomando en cuenta balances de energía eléctrica, decretos, regulaciones y leyes publicadas, así como también se indagó en busca de información de artículos y trabajos de investigación referentes al tema, para tener una idea de cómo fue el crecimiento de este sector en el período de análisis del presente capítulo.
- Asimismo, se procedió a estudiar revistas y trabajos relacionadas a los sectores eléctricos sudamericanos verificando sus datos con las publicaciones de los entes reguladores de cada país analizado.
- Con todos los datos relacionados al sector eléctrico ecuatoriano se procedió a describir los sucesos y estadísticas eléctricas más importantes ocurridas en el período de análisis, con lo cual por último con los datos estudiados de los demás sectores eléctricos sudamericanos se realiza las comparaciones respectivas y de mayor relevancia, con lo que fue y es actualmente el sector eléctrico ecuatoriano.
- Con el fin de hacer la lectura de este capítulo más interesante se realizó la transcripción de la mayor parte de los datos referentes a la actualidad del sector eléctrico de una forma estadística con diagramas de barra en donde se muestra la evolución que ha tenido el mismo.

2.2 Nueva estructura del sector eléctrico

En esta sección se describe los acontecimientos más importantes que ocurrieron en los años de análisis de este capítulo; esto con respecto a la estructura del sector eléctrico ecuatoriano, ya que han sido de vital importancia para dar un punto de inflexión a la falta de atención que ha tenido y que como se analizó en el anterior capítulo, desde el año 1990 hasta 2006, existió cierta crisis que con el pasar del tiempo se hizo más evidente con los famosos apagones que sufría la población ecuatoriana.

2.2.1 Primeras acciones para un cambio en la estructura del sector eléctrico

Los principales cambios en la estructura del sector eléctrico ecuatoriano se dieron en el Gobierno de la revolución ciudadana. El primero fue el nueve de julio de 2007 mediante Decreto Ejecutivo N.º 475, donde se anunciaba la división del Ministerio de Energía y Minas, con la conformación del Ministerio de Minas y Petróleos y el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), esto con la finalidad, de que el MEER sea el ente, que se encargue de recuperar para el Estado la rectoría y planificación del sector eléctrico, además de fortalecer el Sistema Nacional Interconectado y las instituciones estatales del sector energético, para así satisfacer la demanda de energía eléctrica en el país (MEER, 2014).

A la creación del MEER, se suma la disposición dada en la Carta Magna del Ecuador, en la Constitución de la República del año 2008, donde se considera a la energía en todas sus formas como sector estratégico, lo que en conjunto se convirtió en elementos importantes, que le dieron al Estado el poder sobre un sector eléctrico disperso, así recuperando la rectoría sobre el mismo, ya que la había perdido durante los anteriores gobiernos. Además, mediante la Constitución de la República del Ecuador se liquida el Fondo de Solidaridad en la trigésima disposición transitoria, en donde se explicita “El Fondo de Solidaridad, en el plazo de trescientos sesenta días, de forma previa a su liquidación, esto con el fin de que se transformen al régimen de empresas públicas las de régimen privado”(Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador, 2008).

Sucedió una completa reestructuración en el sector eléctrico, acompañado por la expedición del mandato constituyente N.º 15 que fue aprobado por la Asamblea Nacional Constituyente el 23 de julio del 2008, en donde se redujo y unificó las tarifas que deben aplicar las empresas eléctricas de distribución ya que, en algunas provincias, eran distintas respecto a otras. Antes de entrar en vigencia este mandato el costo del kW/h era de 10,410 ctvs. y paso a valer 8,68 ctvs., según los cálculos técnicos de tarifas de CONELEC (Electro generadora del austro S.A, 2008). Con la expedición de este mandato, el Estado logro cubrir la diferencia que existía entre los costos del servicio y la tarifa y lo transfirió a El Ministerio de Finanzas, así dando mayor certeza en el cubrimiento del déficit que tenía el sector eléctrico,

además de hacer posible la eliminación del impuesto del 10% que los sectores industrial y comercial pagaban para aportar al Fondo de Electrificación Rural Marginal (FERUM), ya que desde la su aprobación el financiamiento vendría del Presupuesto General del Estado (Godoy, 2013).

Otro de los beneficios con el Mandato constituyente N.º 15 aparte de los antes mencionados fue que con se facultó la fusión de algunas empresas del sector eléctrico y se determinó que el ente regulador, facilite los mecanismos para su funcionamiento, con lo cual se crea la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL) que está encargada de administrar la parte de distribución de energía de ciertas empresas distribuidoras que estaban constituidas como sociedades anónimas, así siendo creada debido a la fusión de las Empresas de Distribución Bolívar S.A, Regional El Oro S.A, Regional Esmeraldas S.A, Regional Guayas-Los Ríos S.A, Manabí S.A, Milagro C.A, Los Ríos S.A, Santo Domingo S.A, Península de Santa Elena S.A y Regional Sucumbíos S.A, disueltas por efectos de la fusión llevada a cabo; cuyo objeto social es la distribución y comercialización de energía eléctrica, mientras que las demás empresas dedicadas a este fin se excluyeron por sus buenos indicadores de gestión, estas fueron; Empresa Eléctrica Quito S.A, Empresa Eléctrica Centro Sur, Empresa Eléctrica Regional del Sur, Empresa Eléctrica Azogues, Empresa Eléctrica Regional del Norte, Empresa Eléctrica Ambato, Empresa Eléctrica Cotopaxi, Empresa Eléctrica Riobamba (Asamblea Constituyente, 2008).

Años después en 2014 CNEL se funciona con la empresa Eléctrica de Guayaquil, esto con el objetivo de crear una institución pública fortalecida que permitiese dar a la ciudadanía un servicio público de energía eléctrica seguro, confiable, de calidad y calidez, con una gestión eficaz y eficiente, como medio por el cual se contribuiría a alcanzar el buen vivir para todos los ecuatorianos (CNEL EP, 2017).

Así también en 2010 se crea la Corporación Eléctrica del Ecuador (CELEC EP) conformada por 13 unidades de negocio, constituyéndose como la única empresa encargada de la generación y transmisión de energía eléctrica en el país, convirtiendo así a las empresas adjuntas en unidades estratégicas de negocios, todo esto con la finalidad de incentivar la entrada de nuevos proyectos de generación mediante el mejoramiento de la eficiencia, la optimización de recursos y la aplicación de mejores prácticas técnicas administrativas y financieras. Actualmente se encarga de las siguientes unidades que se describen en la TABLA 2.1 (CELEC EP, 2021).

TABLA 2.1.
UNIDADES ESTRATÉGICAS CELEC EP

Generación	Coca Codo Sinclair	Transmisión	Transelectric
	Electroguayas		
	Gensur		
	Enerjubones		
	Hidroagoyán		
	Hidroazogues		
	Hidropuate		
	Hidronación		
	Hidrotoapi		
	Termoesmeraldas		
	Termopichincha		
	Termogasmachala		

Fuente: (CELEC EP, 2021)

Como se observa en la TABLA 2.1 CELEC EP tiene a cargo el desarrollo y expansión de proyectos de generación y transmisión mediante sus unidades estratégicas de negocio, siendo su objetivo principal por la parte de generación incentivar a la inversión en más proyectos de ese tipo y en la parte de transmisión con la ayuda de Transelectric hacer posible la expansión del Sistema Nacional de Transmisión (SNT).

2.2.2 Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE)

La Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE), entro en vigencia el 16 de enero del 2015, en esta se planteaba garantizar que el servicio eléctrico cumpla con todos los parámetros constitucionales de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad, calidad, sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia, para lo cual, mediante la misma, se normó a las instituciones del estado responsables de planificar, ejecutar, regular, controlar y administrar el servicio público de energía eléctrica, además de regular la participación de los sectores públicos y privados, en nuevos proyectos para el desarrollo del sector eléctrico ecuatoriano (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2015).

Mediante la LOSSPE el sector eléctrico ecuatoriano se estructuró como se puede observar en la TABLA 2.2.

TABLA 2.2.

ESTRUCTURA DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO SEGÚN LA LOSPEE

Estructura institucional	Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER).	
	Funciones	Se encarga de
	<p>Órgano rector y planificador del sector eléctrico. Le corresponde definir y aplicar las políticas; evaluar que la regulación y control se cumplan para estructurar un eficiente servicio público de energía eléctrica. Actualmente es conocido como el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables por efectos de fusión con el Ministerio de Minería y el Ministerio de Hidrocarburos en el año 2018, mediante decreto ejecutivo.</p>	<p>La identificación y seguimiento de la ejecución de proyectos; otorga títulos habilitantes; evalúa la gestión del sector eléctrico; la promoción y ejecución de planes y programas de energías renovables; los mecanismos para conseguir la eficiencia energética, de conformidad con lo dispuesto en la constitución y la ley.</p>
	Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL).	
	Funciones	Se encarga de
	<p>Se convierte a la institución CONELEC en la nueva institución pública llamada ARCONEL, que tendrá las funciones de ser el órgano rector y planificador del sector eléctrico, hoy en día por efectos de fusión con la ARCOM y ARCH paso a llamarse, Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables</p>	<p>Definir y aplicar las políticas; evalúa que la regulación y control se cumpla para estructurar un eficiente servicio público de energía eléctrica; identifica y da seguimiento a la ejecución de proyectos; otorga títulos habilitantes; evalúa la gestión del sector eléctrico; la promoción y ejecución de planes y programas de energías renovables; los mecanismos para conseguir la eficiencia energética, de</p>

(ARCERNNR) desde 2020, conformidad con lo dispuesto en la Constitución y la ley.

Operador Nacional de Electricidad (CENACE).

Funciones	Se encarga de
Órgano técnico estratégico adscrito al Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables.	Operar el Sistema Nacional Interconectado (S.N.I.) y administrar comercialmente las transacciones de bloques energéticos, además es responsable del abastecimiento continuo de energía eléctrica al mínimo costo posible, preservando la eficiencia global del sector.

Institutos especializados.

Fuente: (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2015) & (Tacle, 2017) & (Mena, 2020)

Con la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE) se reformó de una manera más clara las funciones que deben acatar las principales instituciones pertenecientes al sector eléctrico además de esto le dio un alto poder al Estado central eliminando la participación privada (excepto en casos excepcionales para la generación). Actualmente algunas de las instituciones vigentes con la LOSPEE han sido fusionadas mediante decretos ejecutivos dispuestos por el presidente de turno, esto se considera en la Fig. 11, en donde se muestra la nueva estructura con los cambios antes mencionados.

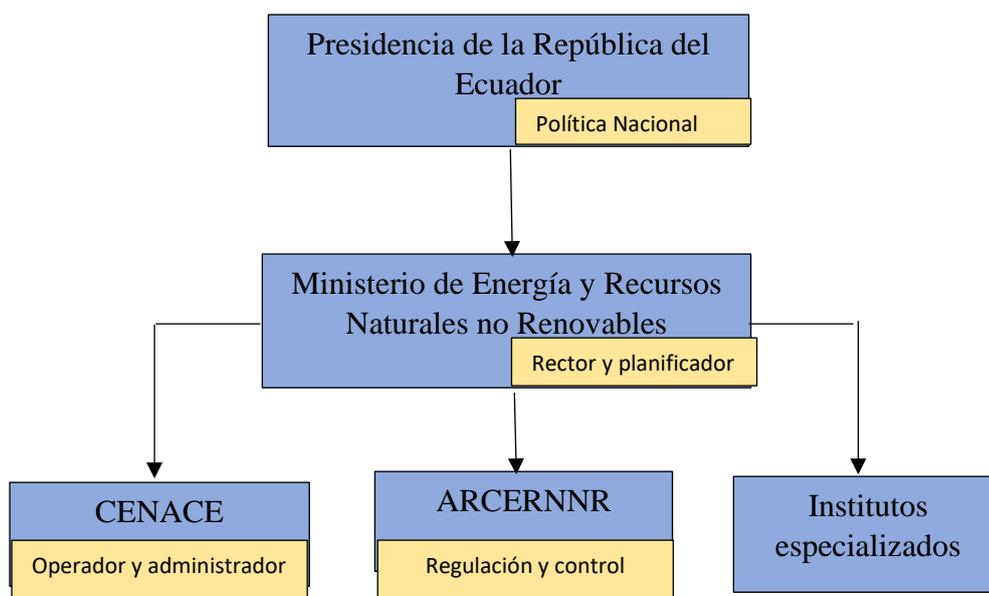


Fig. 11. Nuevo modelo del sector eléctrico ecuatoriano

Fuente: (Barreno, 2018) & (CENACE, 2020)

2.2.3 Ley Orgánica de Eficiencia Energética (LOEE)

El 19 de marzo de 2019 se publicó la Ley Orgánica de Eficiencia Energética (LOEE), en la cual se planteaba establecer el marco legal y régimen de funcionamiento del Sistema Nacional de Eficiencia Energética (SNEE), así como también promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía en todas sus formas, con el fin de incrementar la seguridad energética del país. Mediante esta Ley se conformó al Comité Nacional de Eficiencia Energética que fue integrado por el ente rector en materia de eficiencia energética, Industria y Productividad, Transporte, Vivienda, Ambiente, Economía y Finanzas, el presidente de la Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (AME) y por último con los delegados que representan a las instituciones de educación de nivel superior y a las cámaras de Producción y Comercio (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2019).

Con la conformación del Comité Nacional de Eficiencia Energética se buscaba elaborar propuestas de políticas, programas y proyectos en la materia de la eficiencia energética ayudando así a la elaboración del Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE) el cual se dispuso que será actualizado cada 2 años y tendrá una visión a 10 años (Guerra & Guillén, 2019).

Según la Asamblea Nacional República del Ecuador (2019), las principales funciones designadas al Comité Nacional de Eficiencia Energética fueron:

- Regular la operatividad interna del CNEE y acoger las disposiciones necesarias para el cumplimiento de sus fines.

- Coordinar el funcionamiento del Sistema Nacional de Eficiencia Energética, valorando constantemente el desempeño y resultados de las políticas y objetivos del PLANEE.
- Estructurar la elaboración de propuestas de políticas nacionales, intersectoriales e interinstitucionales hablando de eficiencia energética y uso racional de la energía, para así establecer las políticas necesarias para aumentar la productividad energética en los diferentes sectores de oferta y demanda de energía.
- Articular la preparación de estrategias y acciones que cada miembro del CNEE tendrá, como coordinador de su sector, así siendo discutidas al interior del Comité para su posterior incorporación como insumos para la integración del PLANEE.
- Controlar y valorar el desempeño de las disposiciones del Comité y los avances en la ejecución de los programas e iniciativas aprobadas en el marco del PLANEE.
- Comprobar y valorar el funcionamiento del fondo nacional para inversión en eficiencia energética a fin de cumplir con los objetivos del PLANEE.

Otro de los puntos interesantes que se planteó en esta Ley fue que a partir del año 2025 todos los vehículos que se incorporen al servicio de transporte público urbano e interparroquial deberán ser eléctricos dando así tarifas diferenciales preferenciales para los que se acojan a este cambio. Así también se menciona que el servicio de carga para la movilidad eléctrica en Ecuador podrá ser ofrecido por personas naturales o jurídicas habilitadas mediante las firmas de un contrato, así otorgando la facultad al ex ARCONEL para establecer el valor del costo de carga, en función de un estudio tarifario previo (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021b).

2.3 Cambio de la matriz energética eléctrica del país

La energía en todas sus formas actualmente se encuentra considerada como un sector estratégico del estado ecuatoriano, por lo que se han implementado políticas o leyes como la LOSPEE, que han permitido evolucionar al sector eléctrico de manera significativa, tomando en consideración lo que indica la Constitución de la República del Ecuador, donde se describe el plan de buen vivir para sus habitantes, por lo que se ha tomado con una mayor importancia la energía eléctrica como un servicio y un derecho para la ciudadanía (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2018a). Antes de entrar en funcionamiento los proyectos de generación eléctrica propuestos por el Gobierno en los años de análisis de este capítulo, en Ecuador para satisfacer la demanda energética del país se encontraba en la necesidad de importar energía eléctrica desde países vecinos, así como también de generar electricidad mediante el uso de plantas termoeléctricas cuya base de funcionamiento es mediante el consumo de combustibles fósiles, y por lo tanto es energía no renovable, cuyo consumo tiene un alto índice de contaminación ambiental, además de que sus costos de producción son más elevados (Tacle, 2017).

Con la propuesta del Gobierno para el cambio de la matriz energética del Ecuador, se desarrollaron nueve proyectos de generación eléctrica considerados emblemáticos en el país, con los cuales actualmente se pasó de importar energía eléctrica de los países vecinos a exportarla y así también a satisfacer la demanda energética del país (Calderón Intriago et al., 2018).

- **Construcción de nuevas centrales de generación eléctrica.**

Los grandes proyectos que se ejecutaron por parte del Gobierno fueron enfocados más que todo a la generación hidroeléctrica y con un menor porcentaje a la energía eólica, así siendo llamados emblemáticos con los cuales sacando provecho de los recursos naturales que tiene Ecuador se dio un cambio total en la matriz energética eléctrica en el país, los proyectos antes mencionados se especifican en la TABLA 2.3.

TABLA 2.3.

PROYECTOS EMBLEMÁTICOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA

Generadora	Inicio de operación	Tipo de energía	Potencia [MW]
Coca Codo Sinclair	2016	Hidroeléctrica	1500
Manduriacu	2015	Hidroeléctrica	65
Mazar- Dudas	2015	Hidroeléctrica	21
Minas San Francisco	2019	Hidroeléctrica	270
Sopladora	2016	Hidroeléctrica	487
Delsitanisagua	2018	Hidroeléctrica	180
Toachi Pilatón	2021	Hidroeléctrica	254,4
Quijos	2016	Hidroeléctrica	50
Villonaco	2013	Eólica	16,5

Fuente: (Calderón Intriago et al., 2018)

Socialmente con la construcción de los llamados proyectos emblemáticos se ha creado miles de fuentes de empleo en las zonas donde se desarrollaron dichas infraestructuras, para lo cual se empleó mano de obra de poblaciones aledañas (Vélez, 2016). Además con los cambios propuestos en la matriz energética eléctrica del país, a través de la construcción de los mega proyectos de generación eléctrica planteados por el Gobierno, se dio inicio a la ejecución de nuevas políticas relacionadas con el uso de las energías renovables, para incrementar el uso de las mismas, así disminuyendo el empleo de los combustibles fósiles ya que la energía eléctrica proveniente de este tipo de generación, representaba un elevado costo para el país, tanto en el factor económico como en términos ambientales; el primero en referencia a que el diésel al ser un derivado refinado de petróleo no se conseguía en su totalidad dentro del país y para satisfacer la demanda nacional debía ser importado, lo que

significa gastos por subsidios del Gobierno Central para que el costo sea accesible a la población; por la parte medio ambiental se contempló dejar en desuso este tipo de energía termoeléctrica, esto por los graves efectos medioambientales que produce así como también debido al inicio de operación de los grandes proyectos de generación eléctrica descritos en la TABLA 2.3, todo esto con el fin de apoyar a la creación de más fuentes de energía renovable como por ejemplo, la energía solar que para hacer posible la inversión sobre las centrales de generación termosolar el Gobierno pagaba más por la energía generada de este tipo incentivando a los inversionistas a ejecutar estos proyectos (Escobar et al., 2017).

Con ya casi el 100% de los grandes proyectos de generación desarrollados y con las medidas que tomo el Gobierno para dar un cambio al sector eléctrico, hoy en día se puede decir que en el país se tiene una mayor autonomía hablando de energía eléctrica, esto se puede notar con la premisa de que pasamos de importar energía a exportarla (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2017).

2.4 Actualidad del sector eléctrico ecuatoriano 2020

En esta sección se da a conocer un balance sobre el estado del sector eléctrico ecuatoriano en la actualidad, así analizando temas como la generación, transmisión y distribución eléctrica, ya que son de gran importancia para conocer los avances que se ha tenido mediante los cambios mencionados anteriormente en este capítulo.

2.4.1 Generación

Según los últimos datos publicados por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), actualmente contamos con una potencia nominal de 8.708,85 MW, de la cual 8.091,38 MW es potencia efectiva, en la TABLA 2.4 se detalla cómo se divide esta potencia según la fuente de producción y el porcentaje de utilización que tiene cada una.

Del total de la potencia nominal generada el 60.85% proviene de energías renovables mientras que el 39.15% es de energía no renovable. En 2020 las fuentes de energías renovable que se aprovechó para la generación de electricidad fueron: hidráulica, biomasa, fotovoltaica, eólica y biogás. La provincia de Azuay posee la mayor capacidad de potencia instalada, conformada principalmente por los 1.075 MW de la central hidroeléctrica Paute - Molino de CELEC EP Unidad de Negocio Hidropuate. En segundo lugar, se encuentra Napo, con el aporte de 1.500 MW de potencia nominal de la central Coca Codo Sinclair de CELEC EP Unidad de Negocio Coca Codo Sinclair.

TABLA 2.4.

POTENCIA NOMINAL SEGÚN EL TIPO DE FUENTE DE ENERGÍA

Tipo de energía	Potencia nominal total [MW]	%
Hidráulica	5.098,74	58,55
Turbovapor	605,93	6,96
Turbogas	921,85	10,58
MCI	2.033,61	23,35
Fotovoltaica	27,63	0,32
Eólica	21,15	0,24
Biogás	7,26	0,08
Biomasa	144,30	1,66
Total	8.708,85	100

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021a) & (ARCONEL, 2019)

A pesar de que la potencia nominal proveniente de fuentes renovables es del 60.85%, el porcentaje de energía generada de este tipo superó el 90% en 2020, siendo la más utilizada para el abastecimiento de electricidad en el país, esto gracias a más que todo las hidroeléctricas que tienen una mayor aportación sobre este porcentaje, así ayudando al medio ambiente y promoviendo el desuso de las termoeléctricas que es energía más costosa de producir, así como también es muy contaminante. Otro dato importante es que las empresas generadoras de energía renovable no convencional han tenido un buen crecimiento en estos últimos 10 años, por ejemplo, el tipo de energía producida mediante la biomasa que se encuentra en las provincias de Guayas y Cañar siendo generadas por las empresas Ecoelectric, Ecados y San Carlos que funcionan por medio del consumo de bagazo de caña representan el porcentaje de potencia nominal más alto entre las energías renovables no convencionales.

A continuación, en la Fig. 12 se puede observar cómo ha sido el crecimiento de la generación de potencia eléctrica según su fuente de energía, mediante esto se puede notar que la energía renovable ha tenido un crecimiento considerable en los años donde el Gobierno ecuatoriano a cargo implementó los cambios antes mencionados, así dando más inversión a proyectos de este tipo e implementando ayudas para el crecimiento de nuevas fuentes de energía renovable como por ejemplo el uso de las centrales fotovoltaicas desde el año 2013. Se puede observar también que la potencia instalada de fuentes de energía no

renovable ha tenido un bajo pero considerable decrecimiento en los últimos años siendo este el primer paso que se debe tomar para dejarla en desuso.

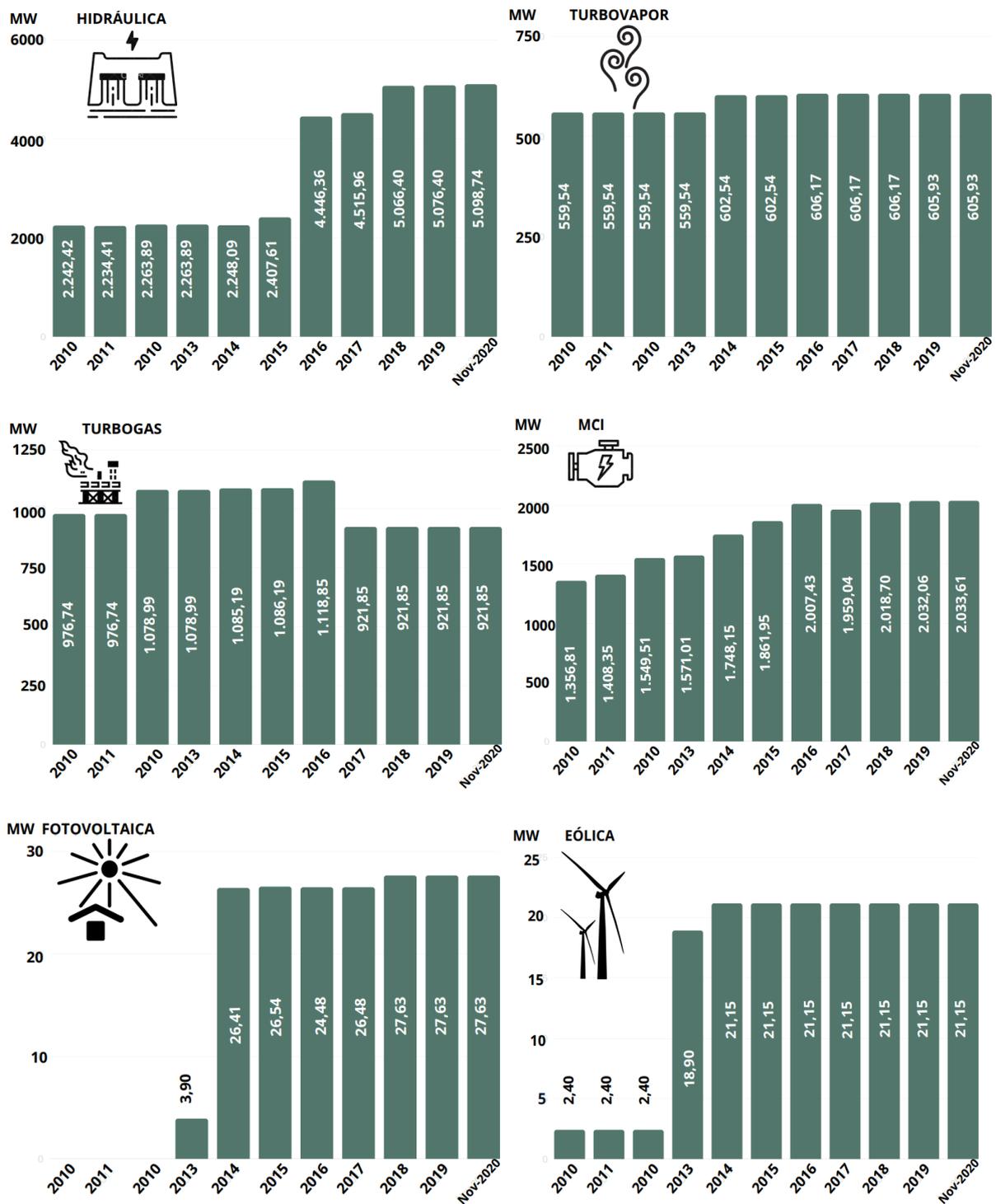


Fig. 12. Crecimiento de la generación de potencia eléctrica

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021a) & (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2018a) & (ARCONEL, 2020)

2.4.2 Transmisión

El Sistema Nacional de Transmisión (SNT) está constituido por subestaciones y líneas que trabajan a voltajes de 500 kV, 230 kV y 138 kV. CELEC EP es el encargado del crecimiento de esta infraestructura a través de su Unidad de Negocio Transelectric. Un acontecimiento importante que se dio en los años de análisis de este capítulo, es la operación del sistema de transmisión a 500 kV que inició en el 2016 con 263,8 km, para 2018 se interconectaron las subestaciones Tisaleo y Chorrillos mediante líneas de transmisión que tienen una longitud de 197 km, en 2019 se incorpora a la infraestructura de 500 kV la línea El Inga Tisaleo, así representando un 9,68 % del total nacional de líneas de transmisión (ARCONEL, 2019). Actualmente según el último informe generado por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) y con datos recopilados de la unidad estratégica de negocio de CELEC EP (Transelectric), se tiene las siguientes longitudes en las líneas de transmisión como se puede observar en la TABLA 2.5.

TABLA 2.5.

LONGITUD DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN POR NIVEL DE VOLTAJE

Nivel de voltaje conectado en el Sistema Nacional Interconectado (SNI)	Longitud de línea [km]
500kV	610,17
230kV	3.239,90
138kV	2.248,57
Total	6.098,64

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021a) & (Transelectric, 2021)

Mientras que la longitud de las líneas de transmisión que sirven para la interconexión con los países vecinos como Perú y Colombia se describe en la TABLA 2.6, en donde se presenta la longitud total de las líneas en km, por tipo de circuito y por nivel de voltaje.

TABLA 2.6.

LÍNEAS DE INTERCONEXIÓN PARA LA TRANSMISIÓN DE ENERGÍA

Líneas de interconexión	Longitud hasta la frontera (km)	Longitud Total [km]
138 kV (Circuito simple)	7,50	15,50
230 kV (Circuito doble)	352,82	536,20

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021a) & (Transelectric, 2021)

Haciendo una comparativa del crecimiento del Sistema Nacional de Transmisión en los años de análisis de este capítulo se tiene los siguientes resultados, que se observan en la Fig. 13, en la que se puede notar que desde el año 2010 hasta 2020 la longitud de las líneas de transmisión casi se ha duplicado aumentando considerablemente su distancia, así mejorando la cobertura de energía eléctrica en el país, otro elemento importante que se puede ver es que se ha implementado la línea de 500 kV desde el año 2016 teniendo una expansión significativa en los últimos años.

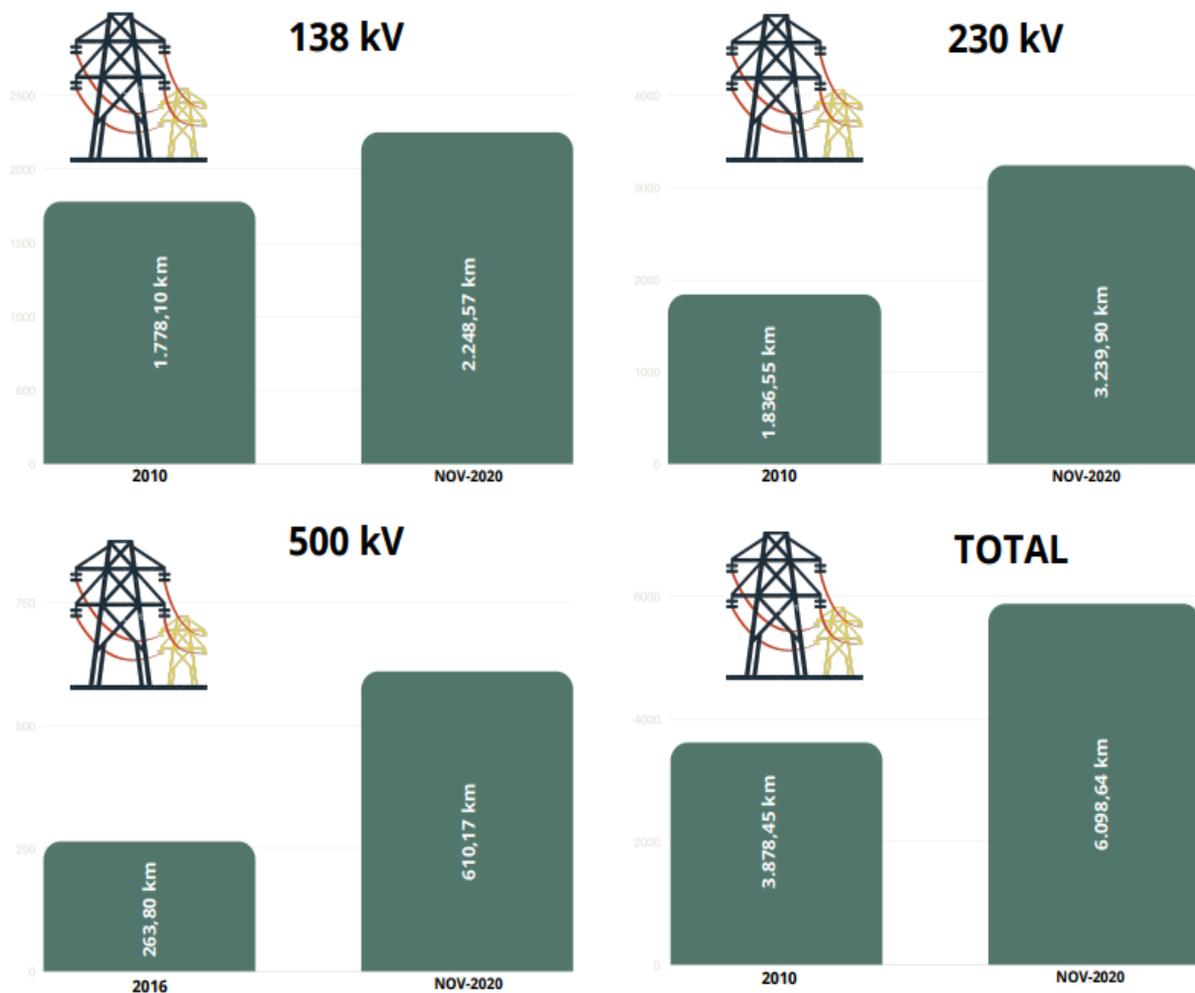


Fig. 13. Crecimiento del sistema de transmisión

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021a) & (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2018a) & (Transelectric, 2021)

Con todas las líneas de conexión descritas en este apartado, se tiene conformado el Sistema Nacional Interconectado (SNI) como se observa en la Fig. 14, donde se distinguen las líneas de transmisión por su nivel de voltaje y el tipo de subestación, que se tiene a disposición en toda esta gran red distribuida por el país.



Fig. 14. Sistema Nacional Interconectado año 2019

Fuente: (ARCONEL, 2019)

2.4.3 Distribución

En esta sección se da a conocer las principales áreas de prestación del servicio público de energía eléctrica, tales como la infraestructura y clientes de cada de empresa distribuidora, esto para tener una idea de cómo estamos actualmente a nivel de país con respecto a estos apartados y así también analizar el crecimiento que se ha tenido con la cobertura del servicio eléctrico para nuevos consumidores en el período de análisis de este capítulo.

Los 257.215,30 km² de superficie territorial del Ecuador se han dividido en 20 áreas para la prestación del servicio público de la distribución de energía eléctrica. En donde 11 áreas se asignaron a las unidades estratégicas de negocio de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP); y, 9 a otras empresas dedicadas a la distribución de energía eléctrica. CNEL EP tiene un área total de 115.877,98 km², correspondiente al 45,05 % de la superficie del país; y, del 54,95 % restante son responsables de la prestación del servicio otras empresas de distribución eléctrica dependiendo de la provincia donde se encuentre el consumidor (ARCONEL, 2019).

- **Infraestructura**

Actualmente se tiene los siguientes indicadores de infraestructura con los datos de todas las empresas distribuidoras del país, esto se especifica en la TABLA 2.7.

TABLA 2.7.

INDICADORES DE INFRAESTRUCTURA

Indicadores	Estadísticas
Distancia de línea de media tensión	106.431 km
Distancia de línea de baja tensión	99.710 km
Cantidades de transformadores de MT / Potencia	347.030 / 13.273 MVA
Cantidad de luminarias / Potencia	1.700.470 / 274.791 kW
Cantidad de acometidas/ Distancia	4.165.858 / 85.863 km
Cantidad de medidores	5.349.804

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021a)

Analizando toda la infraestructura a cargo de las empresas distribuidoras en el país, se puede notar que existe una buena cobertura de servicio eléctrico gracias a la cantidad de proyectos de expansión de redes de media y baja tensión, además de que la mayor parte de la ciudadanía cuenta con una buena iluminación en sus barrios.

- **Clientes**

A nivel de cobertura del servicio de distribución eléctrica en la Fig. 15 se puede observar el crecimiento que se ha tenido con el pasar del tiempo, notando que el incremento general de usuarios ha aumentado un 34.84% en los últimos 10 años, así brindando el servicio de electricidad a muchas más familias ecuatorianas.

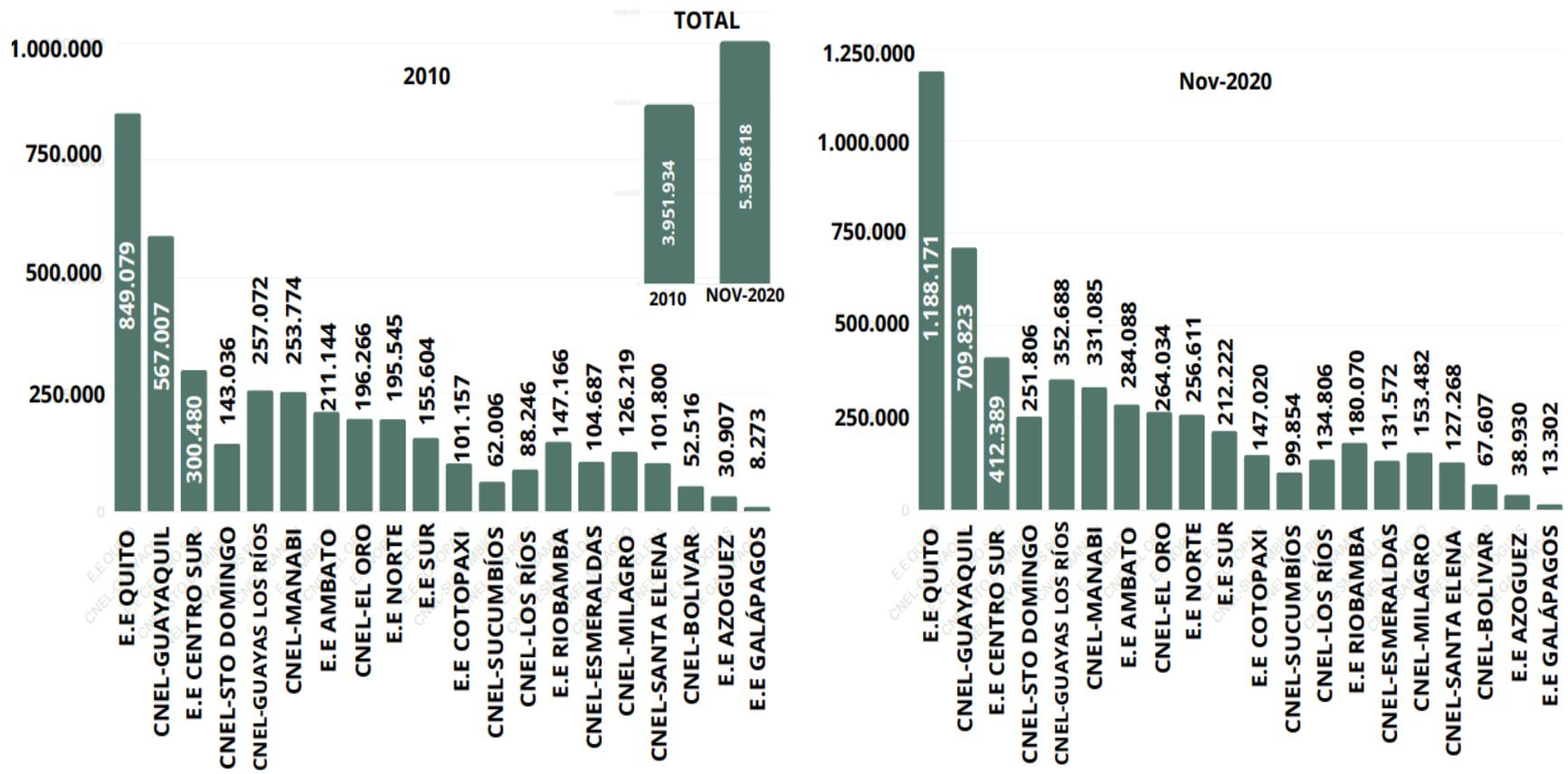


Fig. 15. Número de clientes según la empresa distribuidora comparación del crecimiento en 10 años

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2021a) & (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2018a)

2.4.4 Costos de la electricidad

En esta sección se da a conocer los precios de adquisición y venta de energía del sector eléctrico ecuatoriano tomando en cuenta los valores promedio que se han venido cobrando en los últimos años. Como se observa en la Fig. 16 el valor medio de compra de energía incluyendo los costos de generación y transmisión para el 2020 fue de 3,33 ¢USD/kWh, siendo el valor más bajo registrado en los últimos diez años, notándose también que en el período en el cual ocurrió la crisis energética en el país al depender de los combustibles fósiles para la generación de energía el costo de está era más elevado.

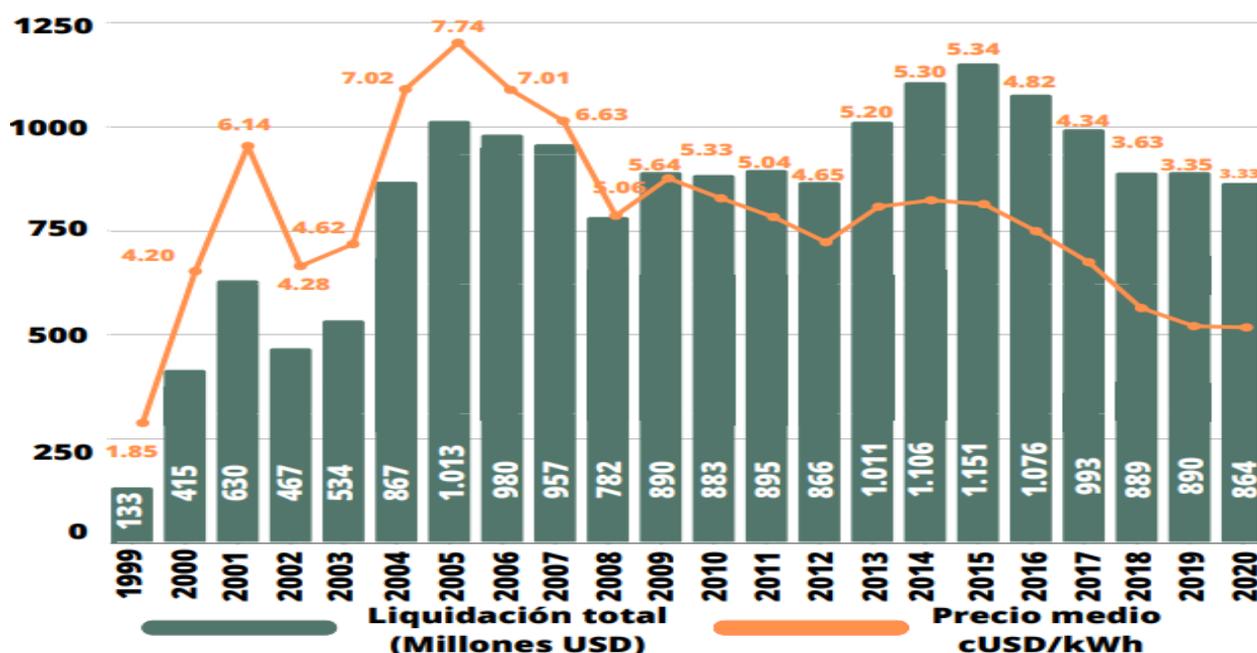


Fig. 16. Histórico de los precios promedio de compra de energía en el ámbito mayorista, 1999 - 2020

Fuente: (CENACE, 2020)

Los precios promedio para la compra de energía a las generadoras es sacado en base al costo establecido para cada empresa dependiendo del tipo de generación que se tenga, donde las hidroeléctricas tienen el valor de adquisición más bajo, mientras que las plantas de generación fotovoltaica son las que cobran más caro actualmente en el país (CENACE, 2020).

El valor que cobran las empresas distribuidoras en promedio para cada tipo de abonado es en el caso del comercial 10,39 ¢USD/kWh, para el residencial 10,08 ¢USD/kWh y por último para el industrial 8,01 ¢USD/kWh, siendo este el que tiene una tarifa más baja a comparación de los demás (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018).

Para las transacciones internacionales de electricidad en la Fig. 17 se puede notar que en el 2016 se registraron los precios medios más altos de la historia, esto con respecto a las

importaciones y exportaciones de electricidad con Colombia. El precio medio de importación para el período 2003-2020 fue de 8.41 ¢USD/kWh y para exportación fue de 4.34 ¢USD/kWh.

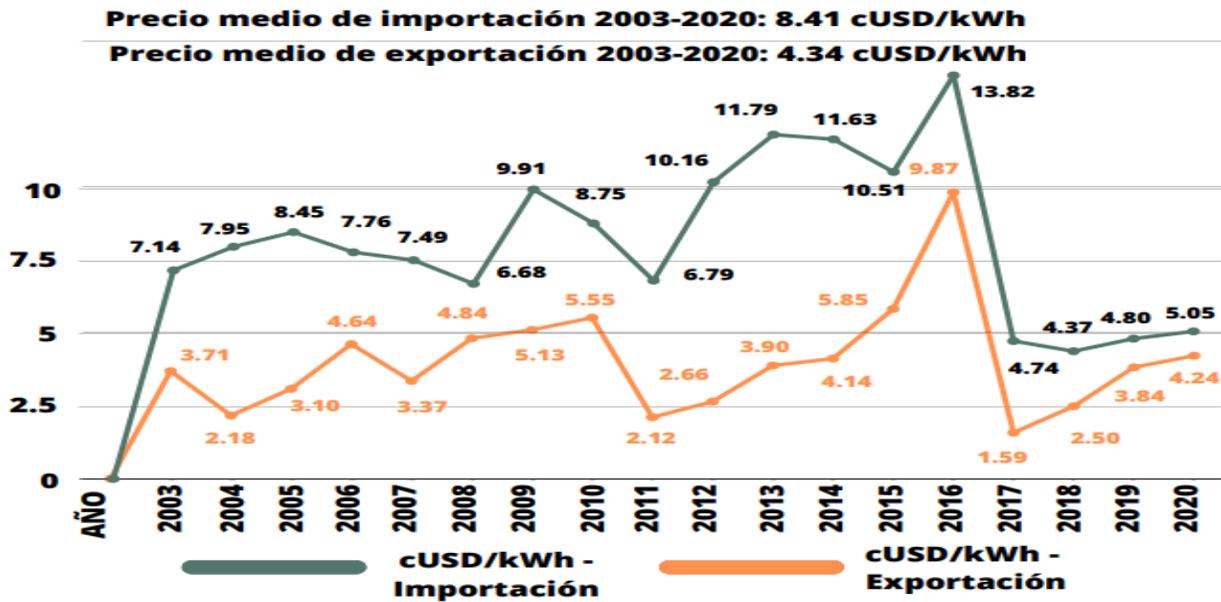


Fig. 17. Precios medios de las Transacciones Internacionales de Electricidad (TIE) con Colombia 2003 – 2020

Fuente: (CENACE, 2020)

Mientras que las transacciones de energía con Perú en los últimos 5 años han sido menores y mayormente de exportaciones como se puede notar en la Fig. 18.

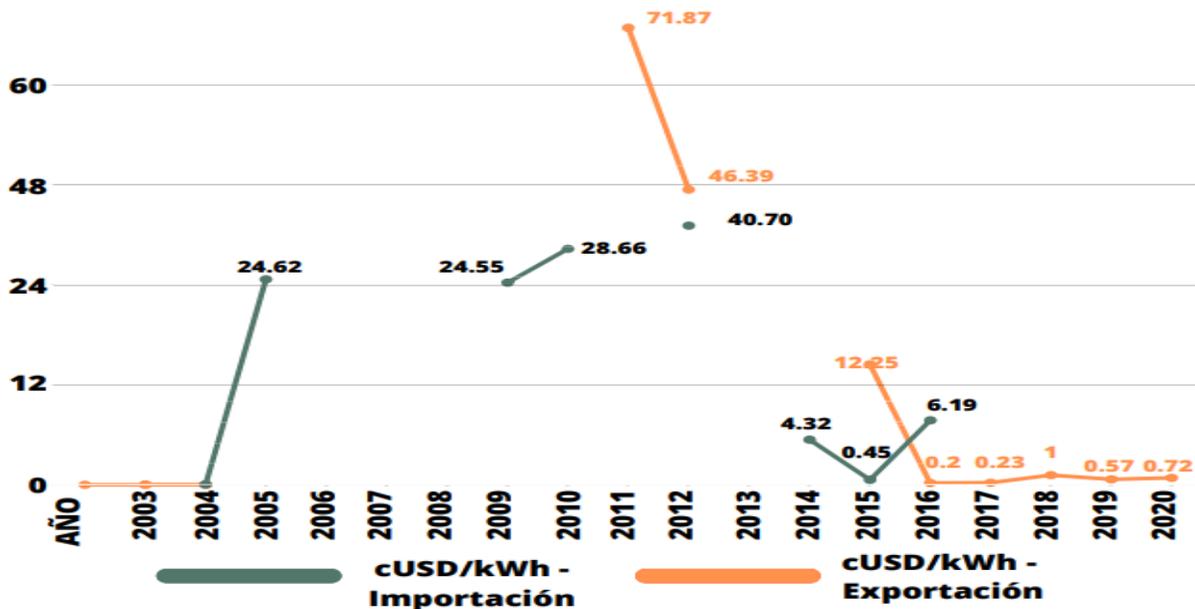


Fig. 18. Precios medios de las Transacciones Internacionales de Electricidad (TIE) con Perú 2003 – 2020

Fuente: (CENACE, 2020)

2.5 Comparativa del sector eléctrico ecuatoriano con diferentes sectores eléctricos en Sudamérica en los años 2007 al 2020.

Desde el año 2007 hasta la actualidad los avances que han tenido los sectores eléctricos de Perú y Chile gracias a implementación de nuevas políticas para ayudar al crecimiento de los mismos han sido de vital importancia, por ejemplo en Perú mediante el D.L N° 1058 se promovió la inversión en la actividad de generación eléctrica con recursos renovables, así como también en Ecuador que como se analizó en este capítulo al considerar a la energía en todas sus formas como un sector estratégico, se desarrolló bastantes proyectos de generación con energías renovables mediante la inversión pública y así también se ha venido dando incentivos a los inversionistas privados para hacer este tipo de proyectos de generación enfocándose más en fuentes de energía solar (Ministerio de Energía y Minas de Perú, 2007). En el sector eléctrico peruano y chileno se evidenció un cambio total con respecto al tipo de energía generada, actualmente se apuesta más por las energías renovables en ambos países, así como también en Ecuador y la mayoría de países sudamericanos, esto más que todo con el fin de dejar de usar energías derivadas del petróleo, ya que son contaminantes para el medio ambiente y su producción es más costosa (Dubrovsky et al., 2019).

Considerando a Chile para comparar la fuente de potencia eléctrica nominal dominante en el país y que como se analizó en el anterior capítulo hasta el año 2007 se tenía un 40.1% que era proveniente de energía renovable, actualmente según los datos del reporte mensual de la Comisión Nacional de Energía de Chile (CNE) se tiene un aumento considerable siendo ahora un 52% potencia generada con fuentes renovables, mientras que en Ecuador se evidencia así mismo un gran incremento en el porcentaje de potencia instalada con fuentes de energía renovable siendo en el 2006 un 40.96% y ascendiendo actualmente según los datos de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR) a 60.85% (Comisión Nacional de Energía, 2021)

Como se puede notar en la Fig. 19 el período donde más crecimiento ha tenido la generación eléctrica en cada país es a partir del año 2010 en adelante, siendo Brasil el país igualmente que sigue generando más energía a nivel de los demás países sudamericanos, así convirtiéndose en el más desarrollado en hablando de la materia energética eléctrica, además de esto otro dato importante que se muestra es que en el año 2017 la potencia generada en Ecuador era de 8.050 MW mientras que en la actualidad con los datos recopilados de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR), contamos con una

potencia de 8.708,85 MW, notándose así un bajo crecimiento comparado a lo que fue en años anteriores.

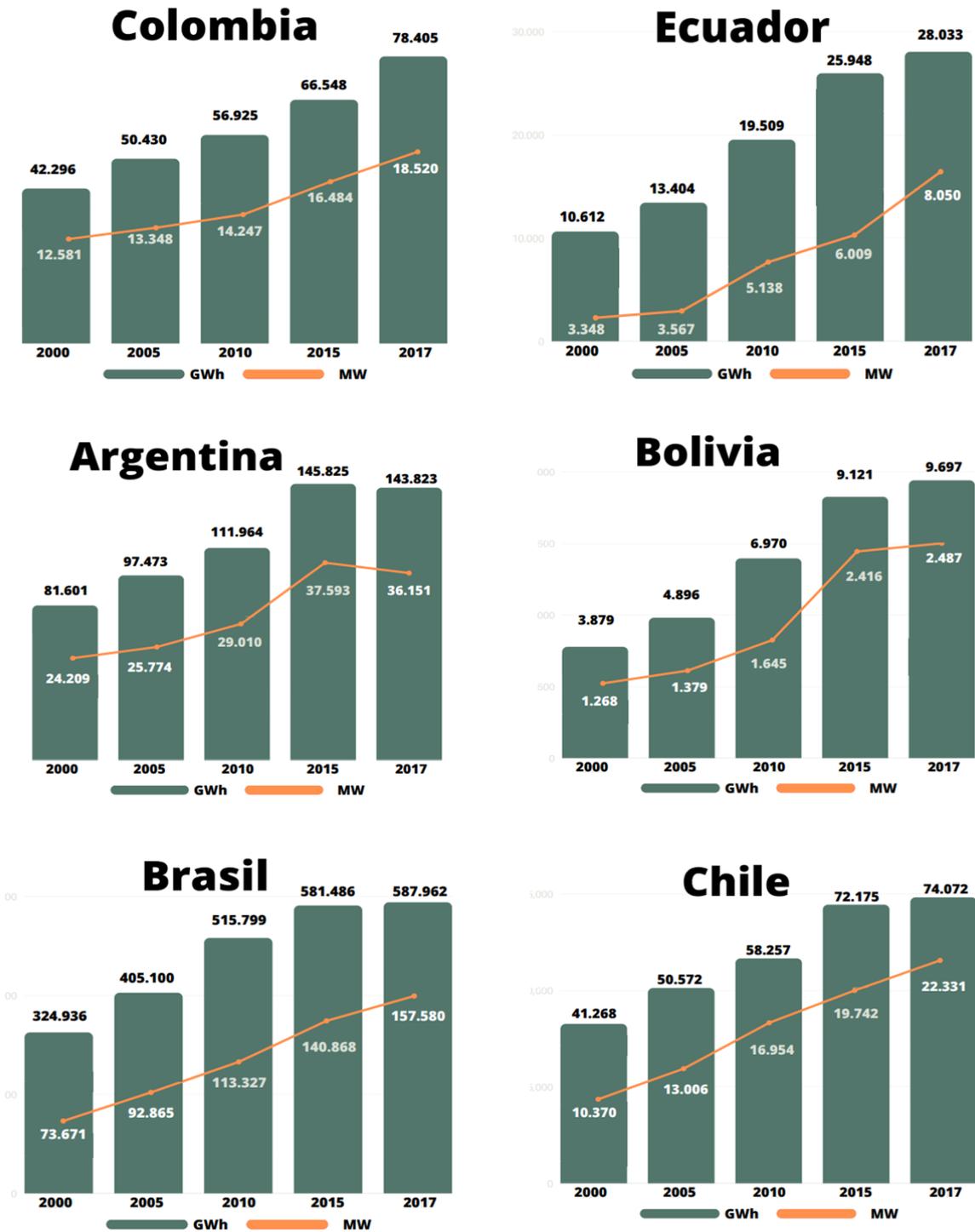


Fig. 19. Evolución de la potencia instalada (MW) y energía bruta anual generada (GWh)

Fuente: (Comisión de integración energética regional, 2017)

3. CAPÍTULO III

Perspectivas de desarrollo del sector eléctrico ecuatoriano

En el siguiente capítulo se tiene como finalidad dar a conocer las perspectivas de desarrollo del sector eléctrico ecuatoriano, analizando todos los cambios y avances de importancia que se puedan dar, para así ayudar al mejoramiento y crecimiento del mismo. También, se hace la comparación de los sectores eléctricos con diferentes países Latinoamericanos.

3.1 Metodología

Para desarrollar el siguiente análisis acorde con lo establecido en el tercer objetivo específico y tener los resultados esperados, se ha seguido la siguiente metodología en la cual constan los pasos descritos a continuación:

- Se examinó la información disponible que brindan las principales instituciones públicas que trabajan constantemente para el desarrollo del sector eléctrico ecuatoriano tomando en cuenta el último Plan Maestro de Electrificación (PME) y trabajos de investigación referentes al tema, para tener una idea de los proyectos y nuevas tecnologías que serán implementadas.
- Asimismo, se procedió a estudiar revistas y trabajos relacionadas a las perspectivas de desarrollo de los sectores eléctricos Latinoamericanos verificando sus datos con las publicaciones de los entes reguladores de cada país analizado.
- Con todos los datos relacionados al desarrollo del sector eléctrico ecuatoriano se procedió a describir los sucesos y estadísticas eléctricas más importantes, con lo cual por último con los datos estudiados de los demás sectores eléctricos sudamericanos se realiza las comparaciones respectivas y de mayor relevancia.

3.2 Integración de nuevas centrales de generación eléctrica

En la TABLA 3.1 se detallan las nuevas centrales que se van a integrar al Sistema Nacional Interconectado (SNI), esto según el último Plan Maestro de Electrificación (PME) publicado, en el cual se da a conocer la expansión que va a tener hablando de la generación de energía planteándose dos escenarios. El primero en el caso base en donde se considera el crecimiento tendencial de la demanda, más las cargas de: proyectos de eficiencia energética, transporte, institutos públicos y privados, centros de transferencia tecnológica, empresas de alta tecnología y desarrollo agroindustrial y en el caso de matriz productiva que considera el caso base y los proyectos que forman el Plan Integral para el desarrollo de Industrias Básicas en el país,

tecnología y de desarrollo agroindustrial (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2018a).

TABLA 3.1.

SECUENCIA DE ENTRADA DE PROYECTOS CASO BASE VS CASO MATRIZ PRODUCTIVA

Año	Caso base	Tipo de central	Potencia [MW]	Caso matriz productiva	Tipo de central	Potencia [MW]
2021	Piatúa	Hidroeléctrica	30	Piatúa	Hidroeléctrica	30
	Machala Gas de Ciclo Combinado	Térmica	110	Machala Gas de Ciclo Combinado	Térmica	110
	Toachi Pilatón	Hidroeléctrica	254,4	Toachi Pilatón	Hidroeléctrica	254,4
	Chalpi Grande	Hidroeléctrica	7,6	Chalpi Grande	Hidroeléctrica	7,6
	Dudas	Hidroeléctrica	7,4	Dudas	Hidroeléctrica	7,4
	La Magdalena	Hidroeléctrica	20	La Magdalena	Hidroeléctrica	20
	Ibarra Fugúa	Hidroeléctrica	30	Ibarra Fugúa	Hidroeléctrica	30
	Sabanilla	Hidroeléctrica	30	Sabanilla	Hidroeléctrica	30
	Maravilla	Hidroeléctrica	9	Maravilla	Hidroeléctrica	9
2022	El Salto	Hidroeléctrica	30	El Salto	Hidroeléctrica	30
	Soldados	Hidroeléctrica	7,20	Soldados	Hidroeléctrica	7,20
	Bloque de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) El Aromo y Villonaco II y III	Eólica	500	Bloque de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) El Aromo y Villonaco II y III	Eólica	500
	Chorillos	Hidroeléctrica	4	Chorillos	Hidroeléctrica	4
	Yanuncay	Hidroeléctrica	14,6	Yanuncay	Hidroeléctrica	14,6
2023	Quijos	Hidroeléctrica	50	Quijos	Hidroeléctrica	50
	Bloque CC Térmico	Térmica	400	Bloque de Ciclo Combinado Térmico	Térmica	1.000
				Bloque de Energías Renovables No Convencionales (ERNC) II	Eólico	400
2024	Santa Cruz	Hidroeléctrica	100	Santa Cruz	Hidroeléctrica	100
2025	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Bloque Hidro I	Hidroeléctrica	150
				Bloque Hidro II	Hidroeléctrica	150
2026	Cardenillo	Hidroeléctrica	595,6	Bloque Geotérmico I	Geotérmica	50
				Santiago I y II	Hidroeléctrica	1.200

				Paute- Cardenillo	Hidroeléctrica	595,6
2027	Santiago I y II	Hidroeléctrica	1.200	Santiago I y II	Hidroeléctrica	1.200
	Total		3.399,8			5.899,8

Fuente: (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2018a)

Tanto para el caso base como para el caso matriz productiva se cumple con una reserva mínima de energía del 10% ante la posibilidad de un escenario hidrológico seco (con 90 % de probabilidad de excedencia), y una reserva mínima de potencia del 20%, sin considerar las interconexiones.

3.3 Redes inteligentes

En Ecuador la integración de las redes inteligentes ha llegado a ser considerada como el futuro de la red eléctrica ecuatoriana, ya que con esto se resolverán muchos de los problemas que se enfrentan actualmente. Por ejemplo, si se incorpora tecnologías de comunicación, control, monitorización y autodiagnóstico, las redes inteligentes pueden mejorar la conexión de fuentes de generación intermitente y tecnologías de almacenamiento, automatizar y renovar el antiguo sistema eléctrico aumentando la confiabilidad del mismo, reducir pérdidas eléctricas, optimizar la conexión de nuevas fuentes de energía renovable, así como también distribuir la energía de una mejor manera (Inga, 2012) & (Mora, 2016).

El camino trazado hacia las redes inteligentes en el país es relativamente nuevo; en enero de 2013 mediante el Acuerdo Ministerial No. 201, se institucionalizó el programa de Redes Inteligentes en Ecuador (REDIE), en donde el objetivo general promovido por el ex Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), era permitir la operación en tiempo real de la red eléctrica y promover el uso eficiente de la energía, con esto Ecuador se convertiría en el primer país de América Latina en lanzar formalmente un programa nacional de redes inteligentes (Corozo et al., 2013). Mediante el programa REDIE se lanzó una Hoja de Ruta en la cual se presentó una planificación constituida por tres frases, con cinco objetivos:

- Reducir las pérdidas
- Introducir nuevas tecnologías con alto valor beneficio-costo
- Mejorar la calidad del suministro a un costo razonable
- Desarrollar los recursos humanos necesarios
- Maximizar el uso de la infraestructura eléctrica

Las áreas de enfoque que se definieron para este programa fueron generación, transmisión, distribución, el consumidor y temas como estándares, operaciones y gestión.

Las tres fases, que se desarrollaron teniendo en cuenta las inversiones que se necesitaran y los costos-beneficios previstos, fueron:

- Fase 1 – 2013-2017, en la que se estableció tecnologías fundamentales como SCADA, AMI y automatización de subestaciones, así como también se introdujo a los vehículos eléctricos para uso privado y público, y se amplió la red de transmisión y la capacidad de generación.
- Fase 2 – 2018-2022, en la que aún se trabaja y donde se introducirán tecnologías más avanzadas como Sistemas de Transmisión Flexibles en Corriente Alterna más conocidos como FACTS y control VOLT/VAR, además de generación distribuida.
- Fase 3 – 2023-2030, en la que se introducirán aplicaciones avanzadas como la monitorización y control de área amplia además de las microrredes, y se pondrá en marcha la gestión de la carga.

En 2015 el ex Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), a través de la cooperación no reembolsable del Banco Interamericano de Desarrollo (BID), contrató los servicios para una consultoría técnica del Instituto de Ingeniería Energética de la Universidad Politécnica de Valencia, así definiendo un modelo conceptual para la implementación de smart grids en Ecuador. Como resultados se planteó soluciones con la integración de la ciencia más avanzada considerando a la tecnología surcoreana, dado su alto nivel especializado y su adaptabilidad a soluciones flexibles (J. Sánchez, 2017).

Con la Hoja de Ruta descrita previamente una de las contribuciones que ha sido más relevante en los últimos años es la medición inteligente, una iniciativa que se viene implementando por varias empresas distribuidoras de electricidad. La tecnología utilizada es AMI (Advanced Metering Infrastructure) la cual tiene la capacidad de realizar lecturas, interrupciones y reconexiones remotamente, reduciendo considerablemente las pérdidas no técnicas y operativas que tienen las distribuidoras. El creciente despliegue de infraestructura de medición inteligente representa oportunidades para mejorar la calidad del servicio eléctrico, crear una red inteligente de baja tensión y recopilar datos de los consumidores (Regalado, 2015). Así también se ha avanzado significativamente con el sistema de información geográfica (GIS) actualmente siendo implementado en todas las empresas de distribución y que sirve para dar el siguiente paso donde todo se controle automáticamente, teniendo que ser los datos que se suban a este programa actualizados y precisos para no tener ningún error al hacer cualquier tipo de control, esto se complementa con los sistemas de adquisición, supervisión y control de datos (SCADA) que se han implementado en la mayoría de subestaciones de distribución eléctrica siendo de mucha

importancia para ejercer una supervisión constante sobre las mismas previniendo y evitando fallas, por último se ha implementado sistemas de gestión de distribución avanzada (ADMS) en los alimentadores primarios de la red eléctrica ecuatoriana, así también automatizando los mismos, siendo todo lo mencionado anteriormente los primeros pasos que se han tomado para la correcta implementación de redes inteligentes en el país (Ponce et al., 2018).

Para lograr el desarrollo y la implantación exitosa de las redes inteligente en Ecuador se debe seguir la planificación dada en la Hoja de Ruta descrita en esta sección con una fuerte dependencia de los avances tecnológicos, así como de las acciones políticas que se lleven a cabo.

3.4 Movilidad eléctrica

Actualmente, en Ecuador el porcentaje de energía generada por fuentes renovables supera el 90%, esto crea un atractivo para la implementación de la movilidad eléctrica; si se logra ejecutar exitosamente en el país se tendría como resultado una transición energética inteligente en el sector del transporte lo que no solo facilitaría el cuidado del medio ambiente y de la salud pública, sino que también atraería la inversión privada (Paredes & Pozo, 2020).

En 2019, mediante la Ley Orgánica de Eficiencia Energética (LOEE) se menciona que a partir del año 2025 todos los vehículos que se incorporen al servicio de transporte público urbano e interparroquial deberán ser eléctricos dando así tarifas diferenciales preferenciales para los que se acojan a este cambio, así también mencionando que el servicio de carga para la movilidad eléctrica en Ecuador podrá ser ofrecido por personas naturales o jurídicas habilitadas mediante las firmas de un contrato, así otorgando la facultad a la ex ARCONEL para establecer el valor del costo de carga, en función de un estudio tarifario previo, este ha sido el primer paso que se ha tomado de una manera más formal para la implementación de la movilidad eléctrica en el país (Asamblea Nacional República del Ecuador, 2019). Después de la publicación de la LOEE se dio la convocatoria para la Primera y Segunda Mesa Ejecutiva de Movilidad Eléctrica, esto con la presencia del Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables (MERNNR), la ex ARCONEL e instituciones del estado relacionadas con la temática, así dando una visión general para elaborar una Hoja de Ruta en donde se desarrolle y presente la regulación que establezca el modelo de contrato de comercialización de energía eléctrica para realizar la carga de vehículos (Agencial de Regulación y Control de Electricidad, 2019).

A inicios del 2020 la ex ARCONEL publicó el pliego tarifario SPEE 2020 considerándose aquí las tarifas generales de bajo y medio voltaje con registrador de demanda horaria para las

estaciones de carga rápida de vehículos eléctricos (Cazco, 2019). Así también la ex ARCONEL y el MERNNR han desarrollado estudios sobre el impacto que tendrán los vehículos eléctricos sobre los sistemas de generación de energía eléctrica, considerando para los análisis realizados un ingreso de 2.924,72 vehículos eléctricos hasta el año 2032, dando con estos datos un impacto de 1,71% en potencia y 1.79% en energía eléctrica sobre los valores proyectados de potencia y energía de acuerdo al último Plan Maestro de Electrificación (PME), lo cual no llega ni al valor considerado como parámetro de seguridad del sistema de generación con la expansión de la misma que se analiza en este documento (20% en potencia y 10% en energía) (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2018a).

En la actualidad, la empresa china BYD E-Motors Ecuador S.A lidera la importación, venta y comercialización de vehículos eléctricos en el país, la cual ha instalado 22 puntos de carga rápida para atender a sus usuarios de los cuales 20 unidades, se ubican en la electrolinera más grande del país que está instalada en el Parque Samanes de Guayaquil y los dos puntos de carga restante se encuentran en el estadio Reina del Cisne en Loja que sirven para abastecer a la flota de taxis eléctricos de la ciudad. Se espera la introducción de una Hoja de Ruta con la cual se dé una visión más clara sobre la implementación de los vehículos eléctricos en el país ya que se ha venido retrasando por la pandemia siendo así está de mucha importancia para seguir avanzando sobre el tema de la movilidad eléctrica (Varus, 2020).

3.5 Redes de corriente continua en alta tensión (HVDC)

Actualmente en Ecuador no se tienen proyectos relacionados con las redes de corriente continua en alta tensión (HVDC) por lo tanto, en esta sección se analizarán algunas de las ventajas de realizar dicha conversión para que, a partir de estas, valorar la conveniencia y necesidad de realizar un proyecto de este tipo en el país.

3.5.1 Conexión de sistemas asíncronos

El sistema eléctrico ecuatoriano opera de manera unificada a un solo valor de frecuencia que es de 60 Hz, por lo tanto, no hay la necesidad de realizar conexiones de redes asíncronas entre sí, se podría considerar para realizar la interconexión con otro país que trabaje a una frecuencia de 50 Hz para la importación y exportación de energía.

3.5.2 Transmisión de energía en largas distancias por medio de cables subterráneos o submarinos

En Ecuador ya que se ha dado un cambio en la matriz energética eléctrica se puede considerar las redes HVDC, para conectar a la red proyectos por ejemplo de generación eólica

que se encuentre distantes al Sistema Nacional Interconectado (SNI), al igual que se podría conectar a los generadores de energía eléctrica que se encuentran en Galápagos ya que también se encuentran aislados del SNI. Los sistemas VSC-HVDC presentan un gran impacto en la flexibilidad para el enlace de plantas de energías renovables, puesto que eliminan las limitantes en cuanto a la frecuencia de operación y el requerimiento de potencia reactiva de dichas plantas (González & Quilumba, 2016).

3.5.3 Estabilidad transitoria de los sistemas

Al momento de presentarse un evento repentino, como la apertura, cortocircuito, falla a tierra de una línea primaria, las redes HVDC son capaces de controlar el voltaje en sus dos extremos con el fin de minorizar el impacto sobre el sistema completo, al igual que permite el bloqueo de las propagaciones de oscilaciones que se presentan a efectos de la falla existente (Domínguez, 2017).

3.5.4 Líneas de transmisión con menor impacto ambiental

La conversión de las líneas de corriente alterna existentes en el SNI ecuatoriano a líneas de corriente continua puede llegar a reducir las estructuras utilizadas para transmitir la energía eléctrica, sin embargo, si bien técnica y ambientalmente esto es beneficioso, es posible que para la empresa que se encarga de la transmisión de energía, este cambio sea un inconveniente económico, ya que la renta que percibirá anualmente por su activo se verá disminuido (Aguirre & Escobar, 2013).

3.5.5 Ventajas económicas para el uso de sistemas HVDC

Las ventajas económicas de un sistema HVDC frente a los HVAC aparecen cuando la longitud de la línea llega a un punto de equilibrio, en el cual la reducción de pérdidas de energía y los costos de construcción compensan el alto costo de las estaciones convertoras. Para llegar a este punto de equilibrio se depende de varios factores, pero aproximadamente su valor oscila entre los 400 km y 800 km, lo cual podría ser beneficioso para la construcción de una nueva línea de alto voltaje por encima de los 500 kV pensando a futuro y la problemática que solucionaría (Tauta, 2012).

3.5.6 Análisis de resultados

Mediante las ventajas antes mencionadas se puede decir que el Sistema Nacional Interconectado (SNI) no está preparado para la implementación de las redes HVDC, y más aún, actualmente el posible desarrollo de este tipo de líneas aéreas, subterráneas o submarinas puede conllevar más problemas que ventajas, dada la configuración actual del sistema. Dentro

de los próximos años tal vez con el desarrollo del país y por consiguiente del SNI, esto conlleve a la necesidad de la instalación de líneas HVDC dentro del sector eléctrico ecuatoriano, sin embargo, bajo la situación actual, no es necesario ni conveniente el desarrollo de este tipo de líneas.

3.6 Comparación de las perspectivas de desarrollo con diferentes países Latinoamericanos

En la mayoría de países Latinoamericanos se tiene algo similar a un Plan Maestro de Electrificación donde se analiza todos los aspectos necesarios para estimar la generación eléctrica que se tendrá que incorporar mediante proyectos futuros, así teniendo un margen seguro de cargabilidad del sistema, para satisfacer el consumo eléctrico de cada usuario. Por ejemplo, en Chile a partir de 2021 hasta 2024 se plantea varios proyectos, de los cuales el 94.6% están relacionados a las energías renovables, así teniendo en los próximos 4 años una expansión de potencia de 6.675 MW, mientras que en Ecuador los proyectos que se plantea desde 2021 hasta 2027, igualmente la mayoría enfocados en el aprovechamiento de las fuentes renovables en el caso base aportaran una potencia de 3.399,8 MW, mientras que en el caso matriz productiva la potencia instalada será de 5.899,8 MW, así entrando a una etapa de seguridad energética en ambos países si estos proyectos son realizados en su totalidad (Asociación de generadores de Chile, 2021) & (Comisión Nacional de Energía, 2021).

Con la integración de más generación eléctrica con energía renovable en los países de América Latina, se tiene un mayor potencial para incorporar tecnologías avanzadas que contribuyan a reducir tanto las pérdidas técnicas como las no técnicas en un sistema eléctrico. Haciendo énfasis con lo antes dicho, en Perú se ha propuesto un plan estratégico para la implementación de redes inteligentes en el sistema eléctrico del país, el cual consta una progresiva evolución de la red para la integración de sistemas inteligentes puntualizando así los niveles de entrada para las tecnologías correspondientes, así mismo en Ecuador como se analizó en este capítulo se está avanzado cada vez más con respecto al tema de las redes inteligentes, así teniendo una Hoja de Ruta donde constan las fases que se deben desarrollar con un visión para la integración de las mismas hasta el año 2030 (enerLAC, 2017). La mayoría de países aún están en el inicio de un largo trayecto para alcanzar el objetivo de las redes inteligentes, para lograr esto cada país debe trazar una Hoja de Ruta que le permita tener un desarrollo adecuado, esto teniendo en cuenta aspectos como la política energética, las prioridades de electrificación, la estructura y regulación del mercado además de las condiciones de su red actual.

El cuidado sobre el medio ambiente ha representado además de cambiar la matriz energética eléctrica en varios países de la región, ver la posibilidad de integrar la movilidad eléctrica como opción para dejar de usar el petróleo y sus derivados, es así que en países como Brasil y Chile se han venido dando incentivos como descuentos para la carga de los vehículos eléctricos durante las noches (López & Galarza, 2016). En Ecuador mediante la Ley de Eficiencia Energética se plantea que para 2025 los vehículos que se incorporen deberán ser eléctricos, pero para que esto se cumpla se depende de la correcta implementación de las redes inteligentes para gestionar la carga rápida de estos vehículos, además de que la expansión de generación sea la adecuada para no tener ningún déficit eléctrico con la masificación de las electrolineras en el país.

Como última perspectiva de desarrollo se analizó las redes de corriente continua en alta tensión en Ecuador, con lo cual actualmente no se tiene la necesidad de implementarlas, por los problemas que se tendría al trabajar con toda la electrónica de potencia que conlleva. A nivel de los países Latinoamericanos, Brasil y Argentina tienen una interconexión asincrónica en 500 kV a través de convertidores BACK-TO-BACK, ya que los dos sistemas trabajan a diferentes frecuencias, además de que en Brasil desde 2019 se encuentra operando la mayor distancia de transmisión de electricidad en América Latina, este es un sistema de corriente continua de ultra alta tensión de 800 kV, lo que permite reducir las pérdidas a lo largo de la línea de transmisión eléctrica (P. Sánchez, 2019).

CONCLUSIONES

- La crisis económica que sufrieron varios países de Latinoamérica en los años 80, afectó a la generación con fuentes de energía renovable que era mayormente producida con los recursos hídricos de cada país, así resultando en una expansión de la energía térmica producida de los derivados del petróleo, en Chile por ejemplo, el porcentaje de energía producida con fuentes no renovables aumentó de 37% a 61% entre 1980 y 2010, al igual que en Ecuador en donde también la energía generada mediante fuentes no renovables aumentó y hasta 2006 representaba un 46.9%.
- Del año 2010 en adelante se ha notado un aumento en la participación de las energías renovables, esto gracias a que en varios países de la región se impulsaron políticas referentes al cuidado del medio ambiente y a la implementación de más generadoras que utilizan fuentes de energía renovable, con esto actualmente en Chile se tiene un 52% de potencia instalada generada mediante recursos renovables así ascendiendo notablemente con respecto a los años pasados, así mismo en Ecuador en la actualidad el 60.85% de potencia nominal es generada mediante fuentes de energía renovable, viéndose así también un cambio evidente en la mayoría de países Latinoamericanos con respecto al incremento en el uso de fuentes renovables para generar electricidad. En este momento, en Ecuador se tiene una potencia instalada suficiente para abastecer la demanda eléctrica del país, además de un excedente para exportar energía a los países vecinos como Perú y Colombia todo esto gracias a las leyes y políticas implementadas por el Gobierno de la revolución ciudadana, sin embargo, en los últimos años se ha descuidado a este sector, ya que el crecimiento de la potencia instalada desde 2017 hasta 2021 ha sido solamente de un 7,57%, esto comparado con el crecimiento que se tuvo de 2010 hasta 2017 que fue de un 33,44% resulta ser un porcentaje bastante bajo a lo que se venía acostumbrado, lo cual puede significar problemas a futuro si no se cumple con los proyectos propuestos en el último Plan Maestro de Electrificación (PME), esto y las fallas que han venido haciéndose evidentes en algunas de las hidroeléctricas emblemáticas propuestas en el Gobierno de Rafael Correa, pueden terminar costándole mucho dinero al país.
- Las perspectivas de desarrollo analizadas en el presente trabajo se deben seguir de acuerdo a lo planificado y no retrasarse más, ya que de esto dependerá la seguridad energética que se tendrá en los próximos años, para no volver a pasar por esos periodos donde se tenía que racionar la energía eléctrica por la falta de generadoras que cubran la demanda eléctrica del país.

RECOMENDACIONES

- Es necesario hacer un estudio más minucioso con respecto a cómo afectó la crisis de los años 80 a los demás países Latinoamericanos, hablando de la parte de generación de energía eléctrica, si bien el presente trabajo analiza esto de algunos países aún quedan muchos por revisar.
- De acuerdo al análisis realizado se pudo evidenciar que en los últimos años la incorporación de algunas centrales de generación que debían entrar en operación se encuentra retrasadas, además que presentan problemas constructivos, por lo cual es necesario hacer un seguimiento, para así verificar el cumplimiento de dichas obras haciéndolo de conocimiento público, ya que esto puede representar varios problemas a futuro.
- Debido a la pandemia por Covid-19 algunas de las perspectivas de desarrollo analizadas en el presente trabajo se han retrasado, por lo cual es necesario entrar en una etapa de reactivación total, para así tener un 100% de cumplimiento en los años que se tienen dados como visión.

REFERENCIAS

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2017). *Plan estratégico institucional 2017-2021*.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2018). Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano 2018. *Toda Una Vida*.
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2021a). *PANORAMA ELÉCTRICO*. 3.
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2021b). *Plan Anual de Operación Estadística PAO 2021*.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2019). *Proyecto de regulación sobre contrato de suministro para la comercialización de energía a estaciones de carga de vehículos eléctricos*. 7–25.
- Aguirre, W., & Escobar, L. (2013). *Estudio de las ventajas y desventajas de usar HVDC sobre sistemas de generación eólica*. 1–219.
- Anchundia Santana, P. E., Balderramo Vélez, N. R., & Pico Mera, G. E. (2018). Causas y Efectos que Impulsaron la Innovación del Sector Eléctrico Ecuatoriano. *Revista de Investigaciones En Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 3(2), 18. <https://doi.org/10.33936/riemat.v3i2.1626>
- Anna, E., Darius, D., Henrik, S., Annuka, E., Johanna, O., Martin, G., Karl, F., Karsten, D., Martin, I., Karsten, D., & Nordic, C. (2019). World Energy Outlook 2019. *IEA*, 7–15.
- Antonio, A. D. M. (1998). *El sistema de transmisión en un mercado desregulado*. 166. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/5685>
- Arciniegas, J., Barrera, A., Breilh, J., Briones, M., Castro, C., Chiriboga, G., Delgado, E., Echeverría, J., Garcés, M., Gómez, L., González, R., Hernández, V., Maugé, R., Moncayo, P., Morales, R., Mora, M., Navas, M., Ortiz, G., Pacari, N., ... Borja, D. (2010). *Crisis energética, vida cotidiana y gobernabilidad democrática*.
- ARCONEL. (2015). *Ecuador posee un 51,78% de energía renovable*. <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/ecuador-posee-un-5155-de-energia-renovable/#:~:text=Actualmente%2C Ecuador es un referente,de sus ocho proyectos hidroeléctricos>.

- ARCONEL. (2019). Atlas del Sector Eléctrico Ecuatoriano. *Arconel*, 113.
<https://www.regulacionelectrica.gob.ec/>
- ARCONEL. (2020). Balance Nacional de Energía Eléctrica. *Estadísticas 2020*.
- Asamblea Constituyente. (2008). *Mandato No 15*.
[http://www.conelec.gob.ec/normativa/mandato No 15_electrico_23-07-2008.pdf](http://www.conelec.gob.ec/normativa/mandato%20No%2015_electrico_23-07-2008.pdf)
- Asamblea Nacional Constituyente de Ecuador. (2008). Constitución de la República del Ecuador 2008. *Incluye Reformas*, 1–136.
https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- Asamblea Nacional República del Ecuador. (2015). LEY ORGÁNICA DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA. *LEXIS*.
- Asamblea Nacional República del Ecuador. (2019). *Ley de Eficiencia Energética*.
- Asociación de generadores de Chile. (2021). Boletín del mercado eléctrico sector generación. *Dirección de Estudios y Contenidos Generadoras de Chile*. <https://doi.org/10.38116/rtm25>
- Barahona, A. (2017). *Análisis De Factibilidad Técnica Y Ambiental De La Inserción De Autos Eléctricos En El Mercado Del Ecuador*.
- Barreno, R. (2018). *Marco General del Sector Eléctrico de Ecuador Marco Normativo*.
- Bedón, E. (1998). *EL COSTO DEL KWh DE GENERACIÓN*.
- Briceño, E., Flores, J., Ochoa, D., Sanmartín, J., & Valdivieso, C. (2011). *Loja pionera de la generación eléctrica en el Ecuador*. 1–4.
- Calderón, G., Merino, J., Navarrete, G., Rodríguez, R., & Sumba, E. (2018). La evolución del mercado eléctrico en el Ecuador. *Journal of Chemical Information and Modeling*.
- Calderón Intriago, G. F., Mera Macías, J. C., & Guamán Segarra, J. C. (2018). El Mercado Eléctrico Ecuatoriano Y Su Incidencia En Los Altos Costos De Las Tarifas De Energía Eléctrica a Los Consumidores Residenciales Y Comerciales En La Provincia De Manabí Comprendidos En El Periodo De Enero a Diciembre Del 2018. *Revista de Investigaciones En Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, 3(2), 24.
<https://doi.org/10.33936/riemat.v3i2.1627>
- Cazco, D. (2019). Futuro de la movilidad eléctrica en Ecuador. *Toda Una Vida*.

- CELEC EP. (2021). *Reseña Histórica y Constitución*.
<https://www.celec.gob.ec/transelectric/index.php/quienes-somos/resena-historica#:~:text=Reseña Histórica y Constitución&text=Transelectric%2C nació como Sociedad Anónima,energía eléctrica en el Ecuador>.
- CENACE. (2015). Planificación estratégica 2015 - 2017. *Cooperación Nacional de Electricidad*.
- CENACE. (2020). *Informe Anual 2020*. 337. <http://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/04/Informe-Anual-CENACE-2020-Parte-1.pdf>
- CEPAL. (n.d.). *El sector eléctrico Ecuatoriano*.
- CNE. (1996). *Ley del régimen del sector eléctrico*. 351, 38.
- CNEL EP. (2017). *CNEL Plan Estrategico 2017-2021*.
- Comisión de integración energética regional. (2017). Síntesis Informativa Energética de los Países de la CIER. *Estadísticas 2017*.
- Comisión Nacional de Energía. (2009). *Las energías renovables no convencionales en el mercado eléctrico chileno* (Vol. 148). Proyecto Energías Renovables No Convencionales (CNE/GTZ).
- Comisión Nacional de Energía. (2021). Reporte mensual sector energético Chile. *Ministerio de Energía Chileno*.
- CONELEC. (2006). *Estadística del sector eléctrico ecuatoriano*.
- CONELEC. (2009). Plan Maestro de Electrificación 2009-2020 - Capitulo 2 (Evolucion y situacion del sector electrico nacional). *Plan Maestro de Electrificación Del Ecuador 2009 - 2020*, 11–14. <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/PME0920CAP2.compressed.pdf>
- CONELEC. (2010). *BOLETÍN ESTADÍSTICO Sector Eléctrico Ecuatoriano 2010*.
- Corozo, E., Echeverría, D., & Gerrón, G. (2013, October). CIEEPI electricidad y telecomunicaciones. 24.
- Correa, P., González, D., & Pacheco, J. (2016). ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE SU REGULACIÓN JURÍDICA EN ECUADOR. *Revista Científica Universidad y Sociedad*, 8, 150. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s2218-36202016000300024

- Cuesta, L., Jaramillo, B., Mayaguari, F., & Yunga, D. (2009). *Sistema Nacional de Transmisión*.
- Djørup, S., Thellufsen, J. Z., & Sorknæs, P. (2018). The electricity market in a renewable energy system. *Energy*, 162, 148–157. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.07.100>
- Domínguez, A. (2017). Planeamiento multietapa a largo plazo de redes de transmisión considerando alternativas HVDC, pérdidas y contingencias. *Universidad Tecnológica de Pereira*, 227.
- Dubrovsky, H., Di Sbroiavacca, N., Nadal, G., & Contreras, R. (2019). Rol y perspectivas del sector eléctrico en la transformación energética de América Latina. *CEPAL*.
- Electro generadora del austro S.A. (2008). Con energía hacia el futuro. *Revista Informativa*, 7.
- Empresa Eléctrica Quito. (2015). *Breve descripción histórica de la EEQ*.
<http://www.eeq.com.ec:8080/nosotros/historia>
- Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A. (2018). *Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A.*
<http://www.eerssa.com/transparencia/>
- enerLAC. (2017). América Latina y El Caribe: estado actual del arte de las redes eléctricas inteligentes. *Revista de Ingeniería de Latinoamérica y El Caribe*.
- Escobar, L. R. I., Cañarte, J. S. R., Macías, L. K. V., & García, M. C. M. (2017). El cambio de la matriz energética en el Ecuador y su incidencia en el desarrollo social y económico de la población. *Mikarimin*, 3(2), 25–36.
<http://45.238.216.13/ojs/index.php/mikarimin/article/view/695>
- Flores, F. (2011). *El sector eléctrico ecuatoriano en los últimos 20 años : Estrategias para alcanzar la seguridad energética*. 162.
[http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/4616/El sector eléctrico ecuatoriano en los últimos 20 años.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/4616/El%20sector%20el%C3%A9ctrico%20ecuatoriano%20en%20los%20%C3%BAltimos%20a%C3%B1os.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Flores, H. (1995). *INCIDENCIA ECONÓMICA DEL INCUMPLIMIENTO DEL PLAN MAESTRO DE ELECTRIFICACIÓN EN EL COSTO DE LA ENERGÍA*. 1, 123.
- Flores Taípe, F. (2011). *El sector eléctrico ecuatoriano en los últimos 20 años : Estrategias para alcanzar la seguridad energética*. 162.
[http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/4616/El sector eléctrico ecuatoriano en los últimos 20 años.pdf?sequence=3&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/4616/El%20sector%20el%C3%A9ctrico%20ecuatoriano%20en%20los%20%C3%BAltimos%20a%C3%B1os.pdf?sequence=3&isAllowed=y)

- Godoy, J. (2013). *DESDE PAUTE HASTA COCA CODO SINCLAIR 40 AÑOS DE HIDROENERGÍA EN ECUADOR*.
- González, J. (2015). *Energías renovables*. Editorial Reverte.
<https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/46748>
- González, M., & Quilumba, F. (2016). Incorporación de dispositivos FACTS y transmisión HVDC en el cálculo de flujos de potencia. *Jornadas En Ing. Eléctrica Y Electrónica, Epn*, 109–120. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17183>
- Guerra, L., & Guillén, J. (2019). *Leyes de Eficiencia Energética en Latinoamérica y El Caribe*. 45.
- Hossain, M. S., Madlool, N. A., Rahim, N. A., Selvaraj, J., Pandey, A. K., & Khan, A. F. (2016). Role of smart grid in renewable energy: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1168–1184. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.098>
- INECEL. (1978). *Visión general del servicio de energía eléctrica en el Ecuador*. 59.
<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/6106>
- INECEL. (1992). *Historia del Sistema Nacional Interconectado*.
- Inga, E. (2012). Redes de Comunicación en Smart Grid. *Ingenius*, 7, 36–55.
<https://doi.org/10.17163/ings.n7.2012.05>
- Jaramillo, J. (2010). *Loja, pionera de la generación de energía eléctrica en el Ecuador*.
- Larrea, C. (2012). ¿Es sustentable la política energética en el Ecuador? *Repositorio UASB-Digital, UASB, Sede Ecuador*, 5 p. <http://repositorio.uasb.edu.ec>
- Loaiza, V. (2018). Crecimiento económico y el uso de energía sustentable y no sustentable: un enfoque del caso ecuatoriano usando técnicas de cointegración. *Killkana Social*, 2(3), 75–86. https://doi.org/10.26871/killkana_social.v2i3.326
- López, G., & Galarza, S. (2016). *Electric Mobility: Opportunities For Latin America*. 81.
http://www.pnuma.org/cambio_climatico/publicaciones/informe_movilidad_electrica.pdf
- Louie, H. (2018). *Off-Grid electrical systems in developing countries*. Springer.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-319-91890-7>
- Marulanda Rendon, J. E. (2020). *Sistemas alternativos de energía*. El Cid Editor.
<https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/127176>

- MEER. (2014). *Reforma del plan anual de contrataciones del ministerio de electricidad y energía renovable*.
- Memoria Chilena. (2018). *Los primeros años de la electricidad en Chile*.
<http://www.memoriachilena.gob.cl/602/w3-article-683.html>
- Mena, A. (2020). REESTRUCTURACIÓN DEL SECTOR ELÉCTRICO DEL ECUADOR. *CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA*, 1–14.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2017). Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035. In *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035*.
- Ministerio de Energía y Minas de Perú. (2007). Balance Nacional de Energía. *República Del Perú*.
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2018a). Plan Maestro de Electricidad 2018-2027. *Toda Una Vida*.
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2018b). *Transformación y situación actual del sector eléctrico*.
- Mora, D. (2016). *Estudio de situación actual de las redes inteligentes en la ciudad de Guayaquil y su aplicación como método de reducción de pérdidas de energía*. 1–125.
- Murillo, P. (2005). *Estudio sobre el Servicio de Energía Eléctrica en el Ecuador y su impacto en los consumidores*. 102.
- OSINERGMIN. (2016). La industria de la electricidad en el Perú. In *Osinergmin*.
- Paredes, L. A., & Pozo, M. (2020). Mobility and Energy Efficiency in the Public Transportation System of Ecuador a Mechanism to Reduce CO2 Emissions. *Revista Técnica "Energía,"* 16(2), 91–99. <http://revistaenergia.cenace.org.ec/index.php/cenace/article/view/356>
- Peláez, M. R., Garcia, M., Cortez, L. A. B., Oscullo, J., & Olmedo, G. (2007). Energy sector in Ecuador: Current status. *Energy Policy*, 35(8), 4177–4189.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.02.025>
- Ponce, M. A., Castro, M., Pelaez, M. R., Espinoza, J. L., & Ruiz, E. (2018). Electricity sector in Ecuador: An overview of the 2007–2017 decade. *Energy Policy*, 113(November 2017), 513–522. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.11.036>
- Regalado, D. (2015). *Análisis comparativo de plataformas tecnológicas de telecomunicaciones*

que se pueden aplicar para la red de acceso de última milla que permita operar a los servicios de infraestructura de medición avanzada (AMI) en la empresa eléctrica regional CentroSur.

Revista Ekos. (2004). *Sector eléctrico soluciones en espera.*

Rodríguez, F. (1990). *LA CRISIS FINANCIERA DE INECEL, SUS CAUSAS, CONSECUENCIAS Y ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN.*

Rudnick, H. (2015). *Conceptos legales e institucionalidad en mercados eléctricos-El caso chileno.*

Sánchez, J. (2017). *Diseño óptimo de una red eléctrica inteligente con criterios de eficiencia energética en la demanda, a partir de la infraestructura eléctrica existente en el sector del parque bicentenario en el área de servicio de la empresa eléctrica quito.* 263.

Sánchez, P. (2019). *Brasil tiene la mayor línea eléctrica de Latinoamérica de 2.539 km.*

Senplades. (2017). *Plan nacional de desarrollo 2017-2021. Toda Una Vida.*

Tacle, W. (2017). *Análisis de la Evolución Normativa del Sector Eléctrico Ecuatoriano.*

Tauta, D. (2012). *Sistemas de transmisión HVDC: repotencialización de líneas de transmisión existentes a través de su conversión a HVDC y desarrollo de grandes sistemas de transmisión HVDC.* *Universidad de Los Andes.*

Transelectric. (2021). *Infraestructura del Sistema Nacional de Transmisión (SNT).* In *CELEC EP.* <https://www.celec.gob.ec/transelectric/index.php/informacion-de-gestion>

Varus. (2020). *Ecuador es un país ideal para la movilidad eléctrica.*
<https://varusecuador.com/entrevista-byd/>

Vasconcellos, C. O. (2016). *Un análisis comparativo de la transición energética en América Latina y Europa.* 72. https://www.kas.de/c/document_library/get_file?uuid=60691a11-3ba7-d739-5de6-06df4600f994&groupId=252038

Vélez, K. (2016). *El cambio de la matriz energética en el Ecuador (2007-2014).* *UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.*