

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Maestría en Electricidad Mención Redes Eléctricas Inteligentes

La Energía Solar Fotovoltaica Distribuida y las Redes Eléctricas Inteligentes (Smart Grids) como Alternativa para Diversificar la Matriz Energética

Trabajo previo a la obtención del título de Magíster en Electricidad Mención Redes Eléctricas Inteligentes

Autor:

Cristian Junior Campoverde Alvarado

Director:

Edisson Andrés Villa Ávila

ORCID:  0000-0002-2766-5913

Cuenca, Ecuador

2023-10-16

Resumen

Este trabajo se plantea como un modelo para fomentar el uso de las energías renovables en la sociedad. El objetivo principal es analizar como la Energía Solar Fotovoltaica Distribuida y las redes eléctricas inteligentes (REI) pueden contribuir a diversificar la matriz energética del Ecuador. Actualmente, el país depende en gran medida de la hidroelectricidad, los combustibles fósiles y en menor medida la energía eólica, biomasa y fotovoltaica. Como parte de los objetivos específicos, se llevará a cabo una revisión del panorama general del sector energético en Ecuador, que incluirá la producción, el consumo, la distribución y el impacto ambiental de la energía actualmente generada. Además, se busca comprender las razones por las que se utiliza predominantemente la energía hidroeléctrica en Ecuador, tanto en los sectores residenciales, comerciales e industriales, así como en la automatización. A pesar de ello, todavía se recurre a la generación de energía termoeléctrica a base de combustibles fósiles como respaldo. Según las investigaciones, si se continúa por este camino, se prevé un aumento de la contaminación ambiental y las emisiones de gases de efecto invernadero para 2035. La energía solar fotovoltaica distribuida y las Redes Eléctricas Inteligentes (REI) se han convertido en alternativas atractivas para diversificar la matriz energética en muchos países, incluido Ecuador. Por lo tanto, es importante promover el uso de energías renovables descentralizadas y proponer soluciones para abordar los desafíos energéticos y ambientales que enfrenta Ecuador. Por otro lado, las REI permiten la integración de la energía renovable en la red eléctrica existente. Esta combinación de tecnologías ofrece una forma sostenible y rentable de generar y distribuir energía eléctrica en el país, reducir la dependencia de combustibles fósiles y mejorar la eficiencia energética. A través de la recopilación de información se realiza un análisis de como la energía solar fotovoltaica distribuida puede implementarse en el contexto energético ecuatoriano mediante la utilización de las Redes Eléctricas Inteligentes (REI).

Palabras Clave: consumo energético, matriz energética, contaminación ambiental, GEI, energías renovables

Abstract

This work is proposed as a model to promote the use of renewable energy in society. The main objective is to analyze how Distributed Photovoltaic Solar Energy and Smart Grids (REI) can contribute to diversify the energy matrix of Ecuador. Currently, the country is heavily dependent on hydroelectricity, fossil fuels, and to a lesser extent wind and photovoltaic power. As part of the specific objectives, a review of the general panorama of the energy sector in Ecuador will be carried out, which will include the production, consumption, distribution and environmental impact of the energy currently generated. In addition, it seeks to understand the reasons why hydroelectric power is predominantly used in Ecuador, both in the residential, commercial and industrial sectors, as well as in automation. Despite this, fossil fuel-based thermoelectric power generation is still used as backup. According to research, if this path continues, environmental pollution and greenhouse gas emissions are expected to increase by 2035. Distributed solar PV and Smart Grids (REIs) have become attractive alternatives for diversify the energy matrix in many countries, including Ecuador. Therefore, it is important to promote the use of decentralized renewable energy and propose solutions to address the energy and environmental challenges facing Ecuador. On the other hand, REIs allow the integration of renewable energy into the existing electrical grid. This combination of technologies offers a sustainable and cost-effective way to generate and distribute electricity in the country, reduce dependence on fossil fuels and improve energy efficiency. Through the collection of information, an analysis is made of how distributed photovoltaic solar energy can be implemented in the Ecuadorian energy context through the use of Smart Grids (REIs).

Keywords: energy consumption, energy matrix, environmental pollution, GEI, renewable energy

Índice de contenidos

Resumen	2
Abstract.....	3
Índice de contenidos	4
Índice de Figuras	5
Índice de tablas.....	6
Agradecimiento.....	7
1.Introducción	8
2.Objetivos.....	10
2.1 Objetivo General	10
2.2 Objetivos Específicos.....	10
3. Materiales y Métodos.....	11
3.1 Criterios de búsqueda y filtrado de información.....	12
3.2 Análisis Bibliométrico.....	14
4. Resultados y Discusión.....	15
4.1 Integración de los sistemas fotovoltaicos y las redes eléctricas inteligentes al sistema energético.....	21
4.2 Acciones Propuestas para diversificar la matriz energética mediante la inclusión de la energía solar fotovoltaica y las redes eléctricas inteligentes.....	22
4.3 Panorama del sector energético en Ecuador.....	23
4.4 Uso de energía solar fotovoltaica distribuida y redes eléctricas inteligentes en Ecuador.....	23
4.5 Impacto ambiental y económico de la energía solar fotovoltaica distribuida y redes eléctricas inteligentes.....	24
4.6 Recomendaciones para promover la adopción de energía solar fotovoltaica distribuida y redes eléctricas inteligentes en Ecuador.....	24
4.7 Perspectivas energéticas en Ecuador.....	29
4.8 Propuestas de como la energía solar fotovoltaica y las REI pueden contribuir a la diversificación de la matriz energética.....	30
4.8.1 Político.....	31
4.8.2 Tecnológico.....	31
4.8.3 Social.....	31
5. Conclusiones.....	32
Reconocimiento	34
Referencias.....	35

Índice de Figuras

Figura 1 Clasificación de los Artículos por Área	13
Figura 2 Diagrama de Flujo de la Selección de Estudios	14
Figura 3 Relación entre los Artículos Encontrados y las Áreas de Estudio	15
Figura 4 Potencial del recurso solar en Ecuador (Meer, 2020).	16
Figura 5 Red Eléctrica Inteligente (REI), Integrada a Sistemas de Generación	20
Figura 6 Tendencia Económica de la Energía Solar fotovoltaica (MEER, 2020).	22
Figura 7 Fuentes de la Matriz Energética Mundial	25
Figura 8 Generación de energía en Ecuador (Hernán & Játiva, 2022).	26
Figura 9 Matriz eléctrica, generación por tipo de fuente	27
Figura 10 Consumo energía sectorial Nacional (Paoli et al., 2018).	28

Índice de tablas

Tabla 1.....	12
Tabla 2.....	17

Agradecimiento

A mis padres y hermano por el apoyo incondicional brindado para cumplir mis metas tanto académicas como personales, siendo de gran apoyo en materia económica lo cual me han encaminado a conseguir mis logros académicos. A mi tutor por su incondicional apoyo y dedicación a la hora de guiarme en la realización de mi trabajo lo cual me encamina a ser un gran profesional.

1. Introducción

El siglo XXI se caracteriza por la creciente importancia del desarrollo sostenible y la transición hacia una economía baja en carbono a nivel global. Uno de los desafíos más grande que enfrentamos es la situación energética tanto a nivel mundial como local, la cual depende en gran medida de los combustibles fósiles. Esta dependencia no solo conlleva una gran contaminación ambiental, sino que también contribuye al cambio climático (Ministerio de Energía y Minas, 2020). Además, los combustibles fósiles son recursos no renovables y su agotamiento es una realidad a corto plazo. Ante este panorama, es imperativo introducir las energías renovables en la matriz energética como alternativa fundamental para la producción de energía (Ministerio de Energía y Minas, 2020). En este contexto, la generación solar fotovoltaica distribuida y las redes eléctricas inteligentes han surgido como opciones atractivas para diversificar la matriz energética y avanzar hacia un modelo más eficiente y sostenible (Alexis & Llanos, 2020).

La generación solar fotovoltaica distribuida se refiere a la producción de energía eléctrica a partir de sistemas solares fotovoltaicos instalados en pequeñas unidades distribuidas geográficamente, como techos de edificios o instalaciones residenciales. Por otro lado, las redes eléctricas inteligentes, también conocidas como Smart Grids (SG), son sistemas que integran tecnologías de información y comunicación en las infraestructuras eléctricas, permitiendo una gestión más eficiente, segura, y flexible del suministro y la demanda de energía (Zhang et al., 2023).

En Ecuador, la dependencia mayoritaria de la energía hidroeléctrica (Ministerio de Energía y Minas, 2020) y de los combustibles fósiles resalta la necesidad de adoptar nuevas tecnologías, como la Energía Solar Fotovoltaica para la producción de electricidad. La incorporación de estas tecnologías innovadoras tendrá un impacto significativo en la diversificación de la matriz energética y en la mitigación de los efectos ambientales asociados a la generación de energía eléctrica. En este artículo, se lleva a cabo un análisis sobre como la implementación de la energía solar fotovoltaica distribuida y las redes eléctricas inteligentes pueden contribuir de manera efectiva a la diversificación de la matriz energética en Ecuador (Gómez et al., 2018).

Las Redes Eléctricas Inteligentes (REI) han surgido como una solución para abordar la necesidad de modernizar las redes eléctricas mediante la integración de procesos de control y seguimiento con tecnologías respetuosas con el medio ambiente (Gómez et al., 2018). Estas redes inteligentes permiten la conexión segura de fuentes de energía distribuida, brindando autonomía y mejorando la eficiencia y eficacia en la gestión de la energía. Además, ofrecen a las empresas de servicios públicos la oportunidad de optimizar su infraestructura

existente y minimizar la construcción de centrales eléctricas (Kobus et al., 2015).

La principal ventaja de las Redes Eléctricas Inteligentes (REI) radica en su capacidad para gestionar y equilibrar la generación y el consumo de energía en tiempo real. Gracias a la utilización de tecnologías de comunicación y control avanzadas, las REI permiten monitorizar y optimizar el flujo de energía, minimizando las pérdidas y los costos asociados. Asimismo, facilitan la detección y el diagnóstico temprano de fallos en la red, lo que contribuye a una mayor fiabilidad y seguridad en el suministro eléctrico (Balderramo Vélez & Llosas Albuerne, 2019).

Desde otra perspectiva legal, es importante destacar que la Constitución de la República del Ecuador, en sus Artículos 15 y 413 (Constitución de La República Del Ecuador, 2008), establece la promoción del uso de tecnologías amigables con el medio ambiente y fuentes alternativas de energía renovable, tanto en el sector público como en el privado. Esta disposición busca fomentar el desarrollo y la adopción de energías limpias y diversas, con un bajo impacto ambiental. Estas disposiciones legales demuestran el reconocimiento por parte de la legislación ecuatoriana de la importancia de abordar el tema de la energía, incorporando criterios de sostenibilidad energética en toda la cadena de valor (Constitución de La República Del Ecuador, 2008).

Dada la urgencia y gravedad de los problemas derivados del consumo de energías no renovables, así como su impacto negativo en el medio ambiente, en la salud humana y el desarrollo sostenible, resulta imperativo realizar un análisis exhaustivo de esta problemática en el contexto específico de Ecuador. En este sentido, surge la siguiente pregunta de investigación como guía fundamental:

¿Cómo se puede proponer un marco teórico que facilite la implementación eficiente de tecnologías solares fotovoltaicas en Ecuador, aprovechando su ubicación geográfica y gran potencial solar disponible, como una alternativa viable y sostenible para diversificar la matriz energética y satisfacer las crecientes demandas del país?

La formulación de esta pregunta de investigación refleja la necesidad imperante de buscar soluciones energéticas sostenibles y diversificadas en Ecuador. Es fundamental considerar el potencial inherente de la energía solar fotovoltaica y, al mismo tiempo, planificar escenarios favorables que permitan su adopción gradual y confiable en el país. De esta manera, se muestra el interés en proponer un marco teórico que propicie el desarrollo de esta fuente de energía renovable, en consecuencia, con los principios de desarrollo sostenible y respeto al medio ambiente (Borràs et al., 2022).

Con base en los objetivos planteados en el resumen, se establecen cuatro puntos clave para estructurar el documento. El primer punto aborda una introducción en la que se discuten temas generales, como la energía solar fotovoltaica y su implementación mediante una REI para la producción de energía limpia y respetuosa con el medio ambiente. Además, se hace énfasis en normas legales y regulaciones del estado ecuatoriano para fomentar el uso de las tecnologías amigables con el entorno.

El segundo punto se plantea los materiales y métodos, donde se hace una recopilación de información en base a las palabras claves previamente establecidas. Se emplean bases de datos, descritas en el documento como motores de búsqueda, aplicando criterios de selección de la bibliografía también especificados. Una vez seleccionada la información, se procede con el análisis de la misma, enfocándose en puntos concretos relacionados con la energía renovable no convencional y matriz energética. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis de la relación entre la información recopilada para determinar los temas relevantes que se abordaran.

Como tercer punto, se presentan los resultados y la discusión, donde se destaca la importancia, los métodos y las acciones necesarias para la implementación de los sistemas fotovoltaicos para la generación eléctrica, acorde al panorama energético actual descrito en el documento. Por último, las conclusiones, basadas en los resultados descritos, se presentan como cuarto punto del documento.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

Analizar de qué manera la Energía Solar Fotovoltaica Distribuida y las Smarts Grids pueden contribuir a diversificar la matriz energética en Ecuador.

2.2 Objetivos Específicos

- Revisar el panorama general del sector energético en Ecuador, incluyendo la producción, el consumo, la distribución y el impacto ambiental de la energía.
- Comprender las razones por las que se utiliza un tipo de energía en particular en Ecuador.
- Demostrar la importancia de promover el uso de energías renovables en Ecuador.
- Proponer soluciones para abordar los desafíos energéticos y ambientales que enfrenta Ecuador.

3. Materiales y Métodos

En esta revisión bibliográfica, se utiliza un enfoque basado en fuentes de datos secundarios para recopilar información relevante sobre el panorama general del sector energético en Ecuador, incluyendo la producción, el consumo, la distribución, generación solar fotovoltaica distribuida y las redes eléctricas inteligentes para diversificar la matriz energética y el impacto ambiental de la energía producida. A continuación, se detallan las fuentes de datos utilizadas:

- **Búsqueda de información:** se llevó a cabo una revisión bibliográfica utilizando plataformas de búsqueda reconocidas como IEEE, SCIEDIRECT, SCOPUS Y ELSEVIER. Se utilizaron palabras clave como “matriz energética y eficiencia” para filtrar los resultados y obtener artículos científicos, informes técnicos, conferencias, y documentos de organizaciones mundiales dedicadas al desarrollo sustentable en base a energías renovables. De acuerdo a este criterio de búsqueda se plantea una relación entre los diferentes artículos para determinar los temas de interés, en este caso una relación concreta entre energía renovable no convencional y cambio en la matriz energética.
- **Selección de fuentes de datos:** se seleccionaron cuidadosamente fuentes de datos secundario confiables y actualizados. Se consultaron informes publicados por instituciones gubernamentales ecuatorianas, como el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2023), la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (Arconel, 2023) y la Corporación Eléctrica del Ecuador (Celec EP, 2023). Además, se revisaron artículos científicos provenientes de revistas de alto impacto que aportaron conocimientos especializados sobre tecnologías y políticas relacionadas con la energía renovable. También se examinaron informes técnicos elaborados por expertos en el campo, así como documentos emitidos por organismos internacionales como la IRENA, la IEA y la CEPAL.
- **Análisis de la información:** se establece una revisión exhaustiva de la información recopilada, organizándola de manera sistemática para facilitar su análisis, planteando que artículos han sido de mayor relevancia para proponer soluciones al tema de estudio en base a los objetivos. Según la información recopilada los artículos con mayor relevancia y que guardan una relación estrecha tienen que ver con aspectos concretos como energía renovable, eficiencia energética y paneles solares como se muestra en la Figura 3, Se aplicaron herramientas de análisis y síntesis con el objetivo de identificar patrones, tendencias y desafíos en el sector energético ecuatoriano. Se hizo hincapié en la relación entre las energías renovables y la reducción de la contaminación ambiental. La metodología

implementada garantizo la recopilación de información relevante y confiable para alcanzar los objetivos establecidos en esta investigación.

3.1 Criterios de búsqueda y filtrado de información

Con base en la revisión bibliográfica realizada en el antecedente, se procede a realizar una búsqueda de artículos científicos pertinentes utilizando palabras clave relevantes. La búsqueda se lleva a cabo utilizando plataformas de búsqueda reconocidas, como IEEE, SCIEDIRECT, SCOPUS y ELSEVIER, siguiendo los criterios establecidos en la Tabla 1. Estos criterios de búsqueda permiten seleccionar los artículos más relevantes y actualizados para nuestro estudio, garantizando la calidad y pertinencia de la información recopilada.

Tabla 1
Criterios de Selección de la Bibliografía

CONSIDERACIONES	FILTROS
Palabras Clave/Títulos	Matriz Energética, Eficiencia Energética, Redes Eléctricas Inteligentes (REI), Energías Renovables, Gases de Efecto Invernadero (GEI), Contaminación Ambiental, Integración de las energías renovables y las REI.
Años de Publicación	2018-2023
Área de Estudio	Ingeniería Eléctrica, Energías Renovables.
Lenguaje	Español, Ingles
DISPONIBILIDAD	“IEEE”, “SCIEDIRECT”, “SCOPUS”, “ELSEVIER”
CONTENIDO DE RELEVANCIA	Artículos relacionados con la energía Solar Fotovoltaica, eficiencia y aplicaciones.

En base a los criterios de búsqueda establecidos en la Tabla 1, se obtuvieron inicialmente 287 artículos relevantes. Sin embargo, luego de aplicar las consideraciones de selección de la bibliografía mencionadas previamente, se descartaron 251 artículos que no cumplían con los criterios establecidos. Como resultado, se obtuvo un total de 36 artículos que fueron sometidos a revisión exhaustiva. En la

Figura 1 se observa el número de artículos encontrados de acuerdo a las palabras clave y

áreas de estudio. En la Figura 2 se observa un diagrama de flujo de la selección de estudios.

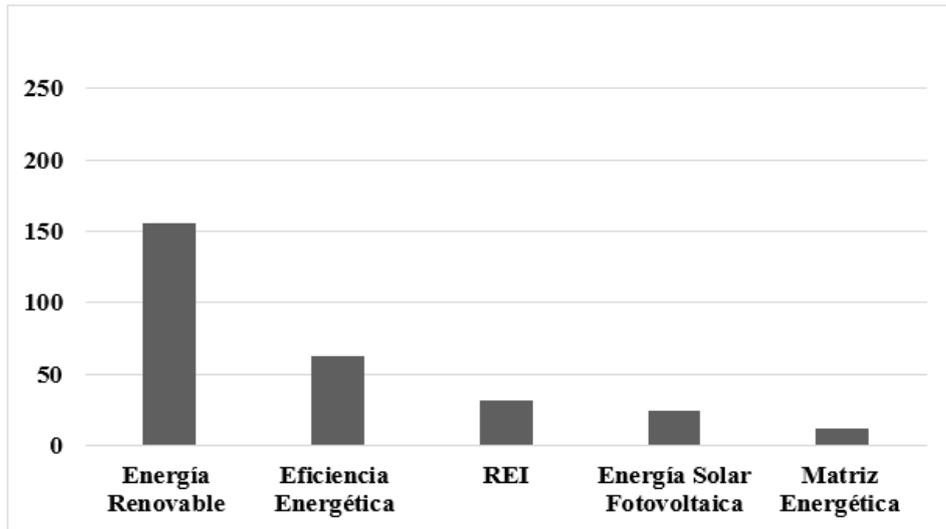


Figura 1 *Clasificación de los Artículos por Área*

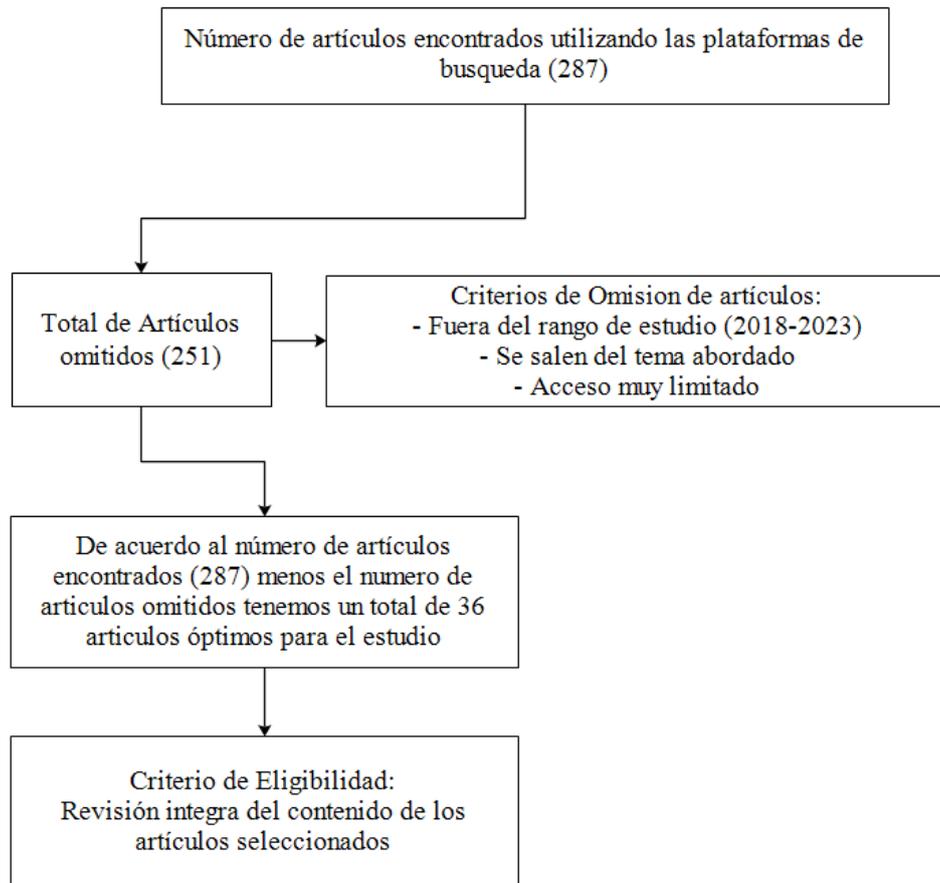


Figura 2 Diagrama de Flujo de la Selección de Estudios

3.2 Análisis Bibliométrico

Una vez definidos los artículos de acuerdo a las áreas de estudio y los criterios de selección establecidos, se realiza un análisis bibliométrico mediante el software VosViewer (VosViewer, 2023) para examinar la interrelación entre estos artículos. Los artículos seleccionados fueron ingresados en VosViewer (VosViewer, 2023), donde se llevó a cabo un análisis de correlación basado en las palabras claves utilizadas en la búsqueda. Como resultado, se genera una red que representa la relación integral entre los artículos y la medida en que están interconectados según el área de estudio. Esta representación se visualiza mediante el grosor de los enlaces, donde los enlaces más fuertes indican mayor relación. Además, los nodos más grandes destacan las áreas más relevantes en el tema de estudio, como energías renovables, matriz energética, energía fotovoltaica y eficiencia energética. La Figura 3 muestra estas relaciones y proporciona una visualización clara de la red generada.

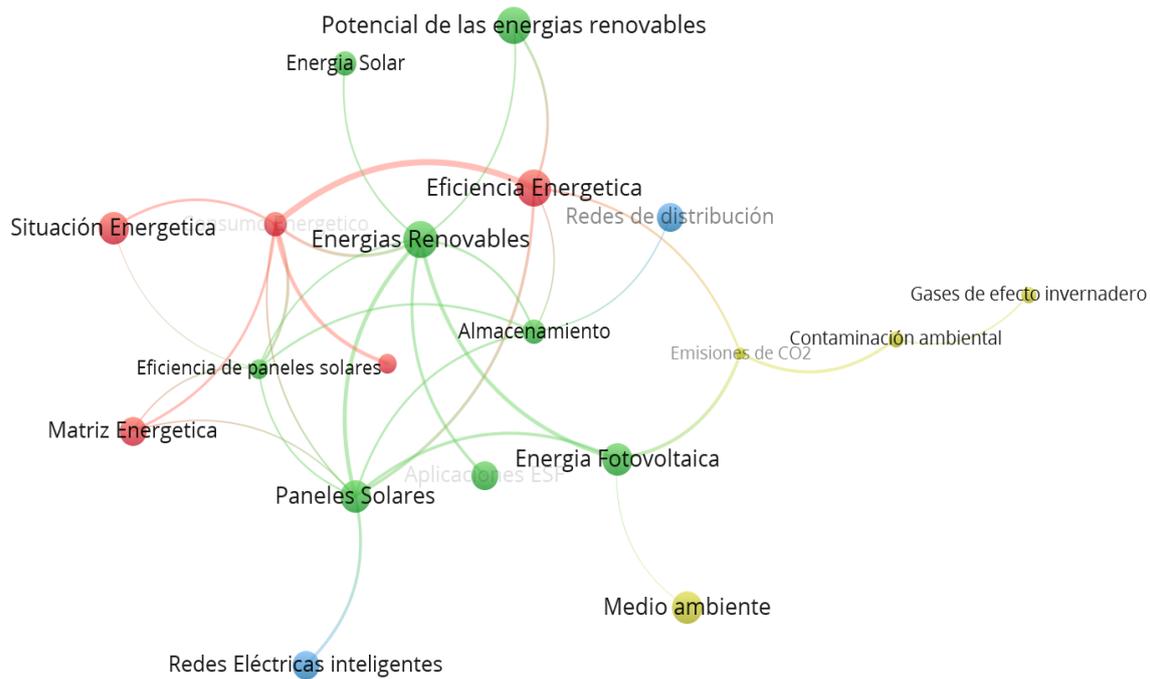


Figura 3 *Relación entre los Artículos Encontrados y las Áreas de Estudio*

En el análisis de datos, se emplea un enfoque descriptivo y comparativo para presentar y analizar los datos obtenidos. Se examina las características clave del sector energético en Ecuador y se evaluó el estado actual de la diversificación de la matriz energética. Se revisa estudios empíricos y revisiones sistemáticas relacionadas con el uso de la energía solar fotovoltaica distribuida y redes eléctricas inteligentes en Ecuador y otros países de la región. Los resultados fueron discutidos y se formula recomendaciones para promover la adopción de estas alternativas en Ecuador.

4. Resultados y Discusión

Se establece una comparación de información entre los diferentes artículos dando a conocer ventajas y desventajas propuestas para la adopción de estas tecnologías.

Este estudio respalda la adopción de la energía solar fotovoltaica como una solución clave en la transición energética. Según (Hernán & Játiva, 2022) y (Ponce, 2019) establecen y están de acuerdo que las tecnologías de energía renovable, incluyendo la energía solar fotovoltaica, están ganando terreno frente a formas de producción tradicionales y convencionales. Además, destacan que la generación solar fotovoltaica distribuida y las redes eléctricas inteligentes permiten una integración eficiente y segura de las energías renovables. La reducción de costos de implementación, como señala (Pupuche, 2022) al igual que (Arencibia, 2016), ha hecho que la tecnología solar fotovoltaica sea cada vez más competitiva. Además, el potencial solar en el país es alto y adecuado. Esta tecnología tiene un gran potencial para ser utilizado en nuestro país según (Jara, 2021) y establecido por (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2021) poseemos niveles de radiación altos que conlleva

una gran ventaja y resulta adecuado para implementar esta tecnología. En la Figura 4 se observa los niveles de radiación en Ecuador con un alto potencial para la generación fotovoltaica (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2020).

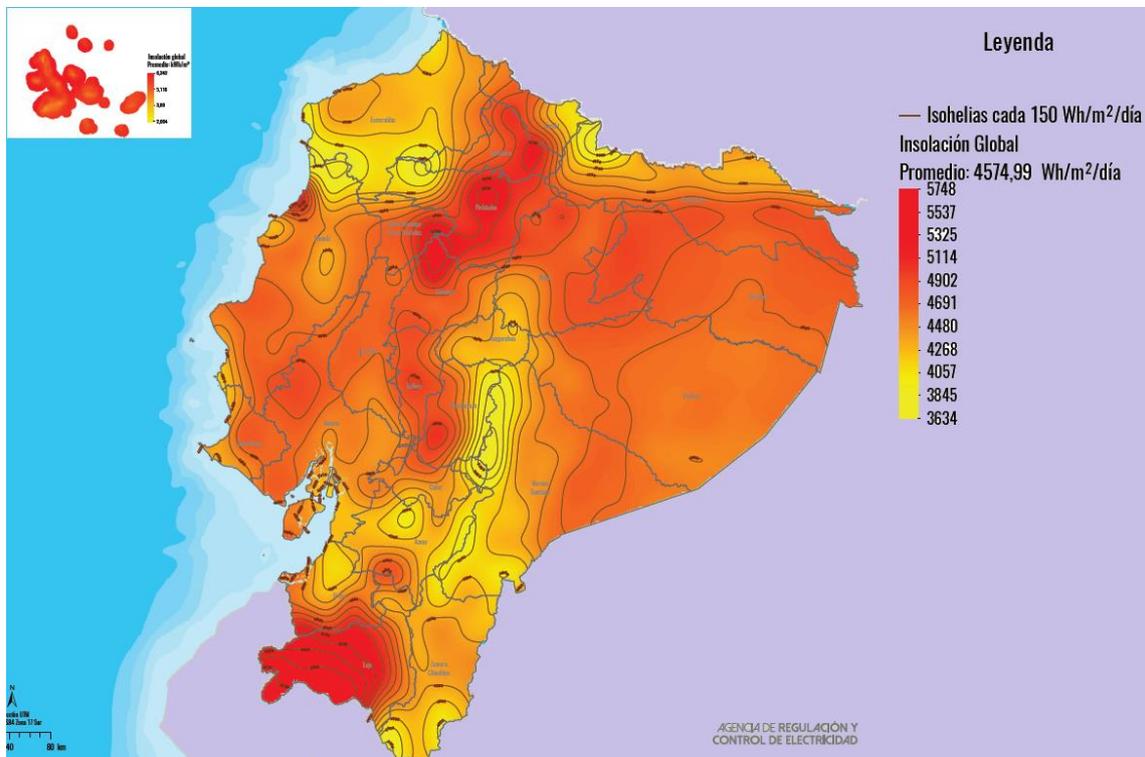


Figura 4 *Potencial del recurso solar en Ecuador* (Meer, 2020).

Según la investigación realizada por (Jara, 2021) el territorio apto para la implementación de la energía solar fotovoltaica cubre 3,4% del territorio nacional (805 km^2), lo que resulta en un potencial teórico de generación fotovoltaica de $61,5 \text{ GWh/año}$. Tomando en cuenta estos datos y como alternativa la expansión de la generación fotovoltaica se sugiere una implementación de $3,9 \text{ GW}$ para satisfacer la demanda en el 2030 con lo que se tendría los siguientes beneficios como reducción del 50% del costo operativo y del consumo de combustibles fósiles en nuestro país, y que tendría un beneficio mayor con el medio ambiente ya que las emisiones de gases de efecto invernadero se reducirían en un 33% (Jara, 2021).

La implementación y ejecución de las REI seguido de un sistema de generación a base de energía renovable que no sea hidroelectricidad y eólica, es un concepto todavía en fase de estudio y se considera nuevo en nuestro territorio según estudio realizado por (Ponce, 2019), pero con un alto potencial para suplir las necesidades energéticas a largo plazo, que conllevaría ventajas como calidad en el suministro de energía eléctrica haciéndola mucho más confiable, segura de operar, suministro constante y seguridad energética. En temas de infraestructura los sistemas fotovoltaicos tienen un periodo de construcción relativamente

bajo en un promedio de un año a año y medio, siendo el periodo más bajo en comparación con los otros sistemas de generación, y teniendo una vida útil de 25 años haciéndola totalmente competitiva (Ponce, 2019).

El despliegue de los sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad está en curso, especialmente en grandes edificaciones (Broers et al., 2023) y (Fang & Tian, 2023) concuerdan con esta idea de autogeneración en grandes empresas para autoabastecimiento y a su vez la conexión a la red de distribución local, lo que promueve la descentralización de la producción de energía eléctrica a pequeña escala. Considerando las tendencias y avances tecnológicos en la generación de energía eléctrica, los sistemas fotovoltaicos se destacan por su alto potencial de implementación en nuestro país y América latina (Magaña, 2019). En la Tabla 2 se presenta un resumen de estas tecnologías destacando su relevancia en el contexto actual (Xinyu & Xiaoze, 2023).

Tabla 2
Estado de las Tecnologías y su Implementación

ENERGÍAS RENOVABLES	INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO	DEMOSTRACIÓN	DESPLIEGUE Y UTILIZACIÓN	DIFUSIÓN	COMERCIABLES
Hidroeléctrica					Grandes Represas a nivel Nacional (Celec EP, 2023)
Eólica				Turbinas de viento instaladas en tierras (Celec EP, 2023).	Parques Eólicos de generación (Celec EP, 2023).
Biomasa		Plantas eléctricas de gran escala (Alexis & Llanos, 2020).	Biogás en pequeña escala (Alexis & Llanos, 2020).	Termoeléctrica combinada con otros combustibles (carbón) (Celec EP, 2023).	Bioetanol (Alexis & Llanos, 2020)
Solar	Paneles Solares Fotovoltaicos más eficientes y 100% reutilizables	Solar- Térmica para generación eléctrica (Borràs et al., 2022).	Módulos solares fotovoltaicos (Borràs et al., 2022).	Paneles solares para calefacción (agua y vivienda)	Pequeñas edificaciones, residencial, iluminación, equipos eléctricos

	(Borràs et al., 2022).				(Borràs et al., 2022).
Geotérmica		Geotérmica fortalecida (Alexis & Llanos, 2020)	Desarrollo Geotérmico para generación eléctrica (Alexis & Llanos, 2020).	Geotérmica para Calefacción (Sharmin et al., 2023).	
Undimotriz		Todos los dispositivos e infraestructura para aprovechar esta energía (Ringwood et al., 2023).			

Según información destacada establecida por (Celec EP, 2023) y (Corporación Nacional de Electricidad, 2023) ambas instituciones destacan que, en las zonas costeras, el aumento de la demanda de energía eléctrica debido al uso generalizado de aires acondicionados durante las épocas de alta radiación, ha provocado sobrecargas en la red eléctrica de distribución, resultando en cortes de energía siendo una desventaja para la eficiencia en la calidad de la energía eléctrica. Ante este problema, se plantea la instalación de pequeñas centrales de generación solar fotovoltaica en grandes edificaciones urbanas y en instituciones públicas para suplir la demanda energética del aire acondicionado. Esta solución aprovecharía la alta radiación solar de la temporada y se integraría a una red eléctrica inteligente, reduciendo la dependencia de la red convencional y estableciendo un sistema descentralizado (Corporación Nacional de Electricidad, 2023).

En respuesta al impacto ambiental negativo de las energías convencionales, ha surgido la necesidad de contribuir a la conservación ambiental (Arroyo & Miguel, 2018) impulsa el desarrollo de nuevas corrientes de generación de energías limpias, como la energía solar fotovoltaica y corroborado por (Ordoñez, 2021). La energía solar fotovoltaica se basa en la transformación de la radiación solar en electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos con cero contaminaciones ambientales, y que se considera una fuente de energía renovable versátil y aplicable en diversas actividades (Shahzad et al., 2020).

En el contexto actual, según (Shahzad et al., 2020) y (Gómez et al., 2018) dan como resultado que las redes eléctricas inteligentes (REI) están siendo influenciadas por las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), lo que ha dado lugar a la aparición de las redes

eléctricas inteligentes (REI). Según (Mier, 2018) y (Shahzad et al., 2020) concuerdan que la convergencia de las TIC con las REI, ha dado lugar al concepto de Internet de la Energía (IoE), que está transformando la producción, el suministro y el consumo de energía a través de la automatización inteligente.

Las Redes Eléctricas Inteligentes (REI) son una combinación integra de una red eléctrica con la tecnología de la comunicación e información haciéndola óptima para el control y automatización, creándose así un intercambio mutuo de información entre suministro y consumo, siendo aplicable para la generación, transporte, distribución y consumidor. El objetivo principal de las REI es garantizar el suministro del servicio eléctrico de manera continua y fiable convirtiéndose así en un servicio de calidad (ver Figura 5). Según la información extraída de (Ponce, 2019) y (Mohaded, 2018) y corroborado por otros autores, dan como resultado que la inclusión de las REI a las redes convencionales conlleva ventajas y beneficios como:

- Localización inmediata de cortes de energía eléctrica, dando paso a una respuesta inmediata para restablecer el servicio (Balderramo Vélez & Llosas Albuerne, 2019).
- Alertas de posibles daños en equipos de suministro de energía eléctrica, dando paso a un mantenimiento preventivo y así alargar la vida útil de los equipos (Gómez et al., 2018).
- Detección de sobrecargas, esto haría que la red cree un balance entre generación y consumo, dando prioridad a sectores donde existe mayor demanda (Gómez et al., 2018).
- Integración de medidores inteligentes capaces de enviar y recibir información de oferta y consumo equilibrado verificando así la no existencia de fugas de energía o hurto del mismo con lo que se lograría la disminución de desperdicio de energía tanto para el distribuidor como el cliente (Borràs et al., 2022).
- Ahorro energético debido a su flexibilidad, eficiencia y capacidad de comunicación con centros de control (Gómez et al., 2018).
- Puede ser integrada a cualquier tecnología de generación eléctrica con recursos renovables (Balderramo Vélez & Llosas Albuerne, 2019).

De acuerdo a (Ponce, 2019) y (Shahzad et al., 2020) las REI optimizan y potencian totalmente el suministro y consumo de energía eléctrica beneficiando así a los consumidores. La integración de las REI podría desarrollarse con la inclusión de las energías renovables nuevas ya existentes. En Ecuador es el caso de la solar fotovoltaica, al implementar esta tecnología

de generación con una REI obtendríamos los beneficios ya antes mencionados y por ende se daría una mayor eficiencia al sistema eléctrico.

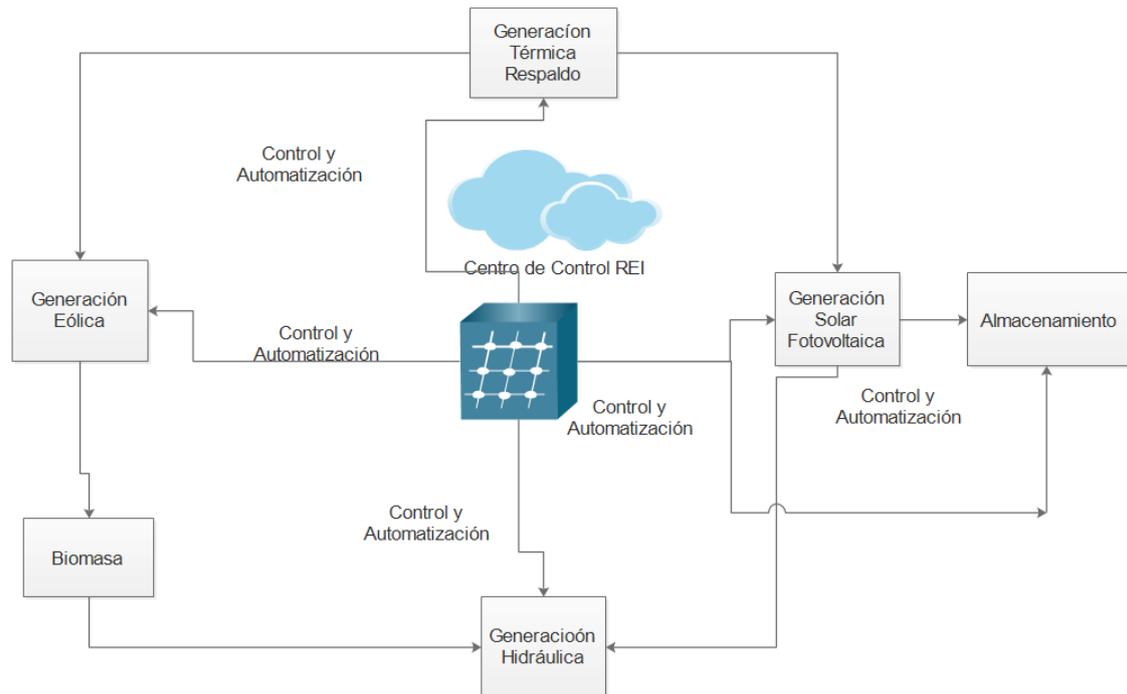


Figura 5 Red Eléctrica Inteligente (REI), Integrada a Sistemas de Generación

La generación distribuida en conjunto con las redes eléctricas inteligentes (REI) está revolucionando el sistema tradicional de gestión y generación de energía, otorgando un papel preponderante a las energías renovables. La integración de la energía, los negocios y la información conducirá a la reestructuración de los sistemas, servicios y procesos de negocios (Alexis & Llanos, 2020).

En América del Sur, países como Chile, Brasil y Colombia se encuentran entre los mercados atractivos para la inversión en redes eléctricas inteligentes (REI) y energías renovables no convencionales (Shahzad et al., 2020) (López, 2020). En Ecuador, se ha impulsado el desarrollo de fuentes de energía renovable en la última década con un enfoque particular en la hidroelectricidad, que cubre apropiadamente el 93% de la demanda eléctrica nacional. Sin embargo, éste nuevo escenario plantea desafíos y oportunidades para gestionar el crecimiento del consumo de energía en Ecuador (Meer, 2020).

La interoperabilidad de las REI con los estándares internacionales es fundamental para garantizar la confiabilidad del suministro de energía, ya que la continuidad del suministro es crucial en cualquier sistema energético. Para lograrlo, es necesario brindar servicios esenciales a los usuarios finales con calidad y confiabilidad, mejorando las capacidades del

sistema (Balderramo Vélez & Llosas Albuerne, 2019).

En este contexto, los nuevos métodos analíticos, como algoritmos de minería de datos y análisis de amenazas de seguridad, se han convertido en herramientas poderosas para el análisis y control de las redes eléctricas inteligentes. Estos métodos permiten explorar la estructura del sistema y comprender mejor las vulnerabilidades, además de mejorar la seguridad mediante la detección y control de ciberataques coordinados (Shahzad et al., 2020).

Las estrategias de optimización inteligente basadas en teoría de juegos, aprendizaje por refuerzo, razonamiento basado en máquinas son clave para asegurar la confiabilidad, seguridad y eficiencia de la red eléctrica. Estas tácticas permiten interacción de las estructuras de seguridad formalizadas para satisfacer la demanda en los mercados energéticos (Balderramo Vélez & Llosas Albuerne, 2019).

Los sistemas modernos de gestión y control de gases de efecto invernadero son capaces de identificar rápidamente los elementos clave de la infraestructura, desarrollar estrategias detalladas de protección y examinar las principales vulnerabilidades de la red eléctrica para implementar estrategias de optimización efectivas (Shahzad et al., 2020).

Además, las fuentes de energía distribuida (DER) a pequeña escala, como los generadores fotovoltaicos, los aerogeneradores asociados con sistemas de almacenamiento, ofrecen soluciones viables para satisfacer las necesidades energéticas es el resultado de (Youssef & Abdellah, 2023) (Broers et al., 2023) y (Andrade, 2019) que establecen también que la implementación de estas tecnologías ayuda a mitigar los problemas asociados con el agotamiento de los combustibles fósiles.

4.1 Integración de los sistemas fotovoltaicos y las redes eléctricas inteligentes al sistema energético

La integración de la energía solar fotovoltaica con la matriz de generación es crucial para diversificar y fortalecer la matriz energética nacional. La energía solar fotovoltaica, a pesar de su intermitencia, puede complementarse con sistemas de almacenamiento eficientes para garantizar un suministro constante (Meer, 2020). Esto permitiría una mayor diversificación de la matriz y reduciría la dependencia de unas pocas fuentes de energía. La introducción de energía solar fotovoltaica descentralizada plantea desafíos, ya que los sistemas convencionales fueron diseñados para generación centralizada. Sin embargo, es posible integrar pequeñas centrales de generación solar directamente a la red eléctrica principal, creando una matriz totalmente verde (Youssef & Abdellah, 2023).

Una propuesta interesante es la electrificación del transporte mediante vehículos híbridos y la instalación de centros de carga alimentados por paneles fotovoltaicos. Esta estrategia aprovecharía la disponibilidad de energía solar durante el día para cargar los sistemas de almacenamiento y los cuales a su vez dotarían de energía a los vehículos durante la noche con lo que se contribuiría a descentralizar los sistemas convencionales de generación y se reduciría el consumo de combustibles fósiles, diversificando así la matriz energética (Qinlong et al., 2023). Es necesario promover un cambio de visión y concepto en los sistemas energéticos, fomentando la implementación de pequeñas centrales de generación descentralizadas y sistemas fotovoltaicos en edificios y hogares. Además, se requiere apoyo gubernamental en forma de incentivos económicos para acelerar la adopción de estas tecnologías (Fang & Tian, 2023).

La inclusión de energías renovables no sólo implica cambios tecnológicos y de infraestructuras, sino también un cambio de paradigma en la concepción de los sistemas energéticos, superando la preferencia por grandes proyectos centralizados. En la mayoría de los artículos tomados como referencia se destaca que estas tecnologías como la solar fotovoltaica han reducido sus costos y continuaran haciéndolo debido a su creciente demanda (ver Figura 6) (Gómez et al., 2018).

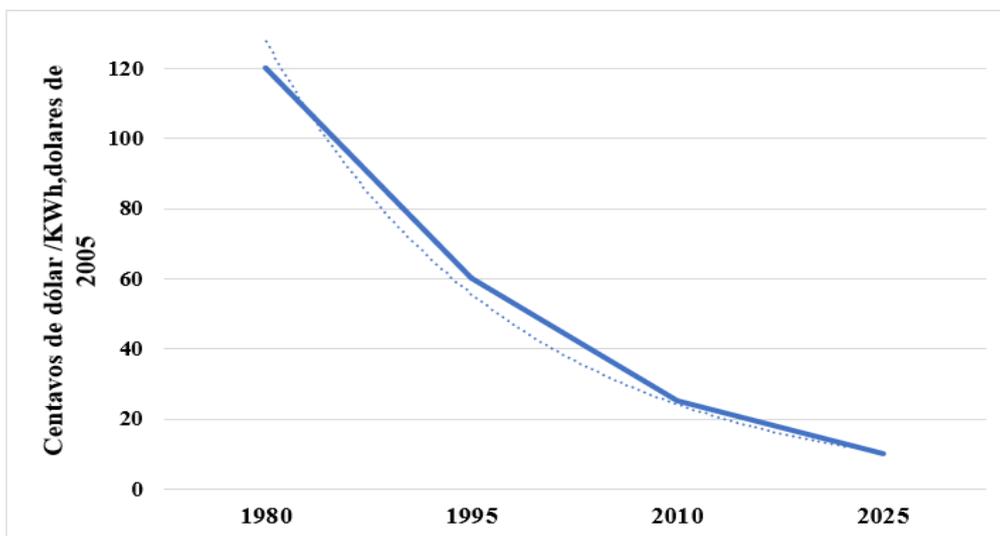


Figura 6 *Tendencia Económica de la Energía Solar fotovoltaica* (Meer, 2020).

4.2 Acciones Propuestas para diversificar la matriz energética mediante la inclusión de la energía solar fotovoltaica y las redes eléctricas inteligentes

- Dentro del marco legal se debería incentivar a las empresas públicas y privadas la inclusión de las energías renovables y las redes eléctricas inteligentes (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2021).

- Establecer precios preferenciales a sectores que consuman energía eléctrica proveniente de estas fuentes (Balderramo Vélez & Llosas Albuerne, 2019).
- Encontrar alianzas estratégicas con naciones aledañas así se aprovecha la experiencia mutua para su implementación (Medina, 2018).
- Intercambio tecnológico con otras regiones y asistencia técnica con respecto al uso de las Redes Eléctricas Inteligentes (REI), en integración a la red convencional (Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2023).
- Estos planes estratégicos deberían promover la participación colectiva de profesionales de la rama, tanto locales como extranjera (Borràs et al., 2022).
- Establecer rebajas arancelarias para equipos de producción de energía eléctrica mediante recursos renovables y así incentivar su implementación (Khalil et al., 2023).
- Dar a conocer a la población en general mediante campañas informáticas del beneficio energético de la implementación de estas tecnologías, tanto en un ámbito económico, conservación del medio ambiente, futuro sustentable y potencial de generación (Balderramo Vélez & Llosas Albuerne, 2019).

4.3 Panorama del sector energético en Ecuador

El análisis de la literatura revela que, en Ecuador, el sector energético se basa principalmente en la generación hidroeléctrica, que representa aproximadamente el 78,5% de la matriz energética en el 2021. Sin embargo, la generación térmica, principalmente a partir de combustibles fósiles, ha experimentado un aumento en los últimos años y representa alrededor del 37% de la matriz energética (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2021). Aunque se han realizado avances en la implementación de energía eólica con proyectos como Villonaco etapa 1 y 2 (Celec EP, 2023), y la reciente central Minas de HuascaChaca (ElecAustro S.A., 2023), la contribución de la energía solar fotovoltaica y otras fuentes renovables sigue siendo limitada a la falta de incentivos económicos y al poco interés de los ministerios por adquirir e implementar esta tecnología.

4.4 Uso de energía solar fotovoltaica distribuida y redes eléctricas inteligentes en Ecuador

En Ecuador, la adopción de la energía solar fotovoltaica distribuida y redes eléctricas inteligentes se encuentra en etapa inicial. Sin embargo, se han observado casos exitosos en otros países de la región, como Chile y México, donde estas alternativas han demostrado ser viables y beneficiosas tanto desde el punto de vista económico como ambiental (Enlight, 2023). En nuestro país, las condiciones óptimas para la implementación de la energía solar, debido a la alta incidencia solar en ciertas regiones, ofrecen oportunidades para satisfacer la demanda de energía de poblaciones cercanas y descentralizar la generación. El mapa del

potencial solar en Ecuador (ver Figura 4) (Meer, 2020), revela que en el sur del país cuenta con uno de los mayores potenciales para la implementación de esta tecnología, lo que podría contribuir a la eventual eliminación de las centrales térmicas existentes en dichas regiones.

4.5 Impacto ambiental y económico de la energía solar fotovoltaica distribuida y redes eléctricas inteligentes

La adopción de la energía solar fotovoltaica distribuida y las redes eléctricas inteligentes (REI) pueden tener un impacto significativo en la reducción de la huella ambiental del sector energético y en mejorar la resiliencia del sistema eléctrico frente a eventos climáticos extremos. Durante periodos de estiaje, la generación hidroeléctrica, que es nuestro principal recurso de generación, se ve afectada, lo que ha llevado a la activación de centrales térmicas como respaldo. Estas alternativas ofrecen la oportunidad de generar empleos verdes y fomentar la innovación tecnológica en el sector energético (Arroyo & Miguel, 2018).

4.6 Recomendaciones para promover la adopción de energía solar fotovoltaica distribuida y redes eléctricas inteligentes en Ecuador

Con base en los resultados de la revisión de literatura, se proponen las siguientes recomendaciones para promover la adopción de energía solar fotovoltaica distribuida y redes eléctricas inteligentes en Ecuador (Meer, 2020), haciendo un análisis de recopilación de información de (Ponce, 2019), (Balderramo Vélez & Llosas Albuerno, 2019), (Jara, 2021), se destaca que el primer paso para adoptar la tecnología solar tiene que ver con:

- Fomentar políticas públicas y estrategias que impulsen la adopción de energías renovables en general y de la energía solar fotovoltaica distribuida a través de incentivos fiscales y financieros.
- Promover la educación y conciencia de la población sobre los beneficios ambientales y económicos de la energía solar fotovoltaica distribuida y redes eléctricas inteligentes.
- Fomentar la investigación y el desarrollo de tecnologías y modelos de negocio innovadores para el uso de energía solar fotovoltaica distribuida y redes eléctricas inteligentes en Ecuador.

Se destaca que, en Ecuador, las emisiones de CO₂ del sector transporte han aumentado en 5,56 Mt de CO₂, mientras que el sector industrial ha logrado reducir 1,83 Mt de CO₂ las emisiones gracias a la implementación de energías limpias, en la producción industrial y el uso de centrales hidroeléctricas. Esto ha contribuido positivamente la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (Muestes et al., 2022).

El cambio climático representa una amenaza para la salud humana, y es necesario limitar el aumento de la temperatura global a 1,5 °C para prevenir impactos catastróficos lo resuelven. Para lograrlo, se requiere reducir las emisiones de gases contaminantes y evitar umbrales de temperatura (World Meteorological Organization, 2022).

A nivel mundial, la matriz energética está dominada por fuentes no renovables, como el petróleo, el carbón y el gas natural, mientras que las fuentes renovables representan una pequeña porción, como la solar, la eólica y la geotérmica, en forma conjunta solamente representan el 2,5%. Además de la energía hidroeléctrica, las energías renovables incluyendo la biomasa, apenas alcanzan aproximadamente el 15%, como se muestra en la Figura 7. Se sostiene que las fuentes de energía no renovables emiten la mayor cantidad de emisiones de GEI (Álvarez, 2022).

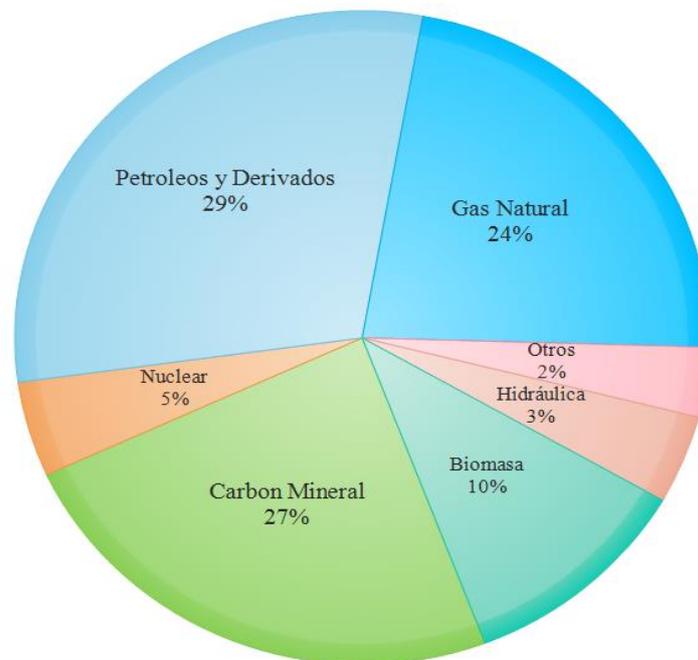


Figura 7 Fuentes de la Matriz Energética Mundial

En el ámbito energético, se distingue entre la matriz energética y la matriz eléctrica. La matriz energética comprende todas las fuentes de energía utilizadas en diversas actividades industriales, incluyendo el transporte y la generación de electricidad. Por otro lado, la matriz eléctrica se refiere exclusivamente a las fuentes de energía utilizadas para la producción de electricidad, siendo parte integral de la matriz energética (Álvarez, 2022).

En el caso Ecuador, la capacidad instalada a nivel nacional (ver Figura 8) se estima en aproximadamente 8.712,1 MW, de los cuales 5.096,6 MW proviene de hidroeléctricas (59%), centrales térmicas 3.415,14 MW (39,2%) y 200,38 MW de otras fuentes renovables (2,3%)

(Hernán & Játiva, 2022).

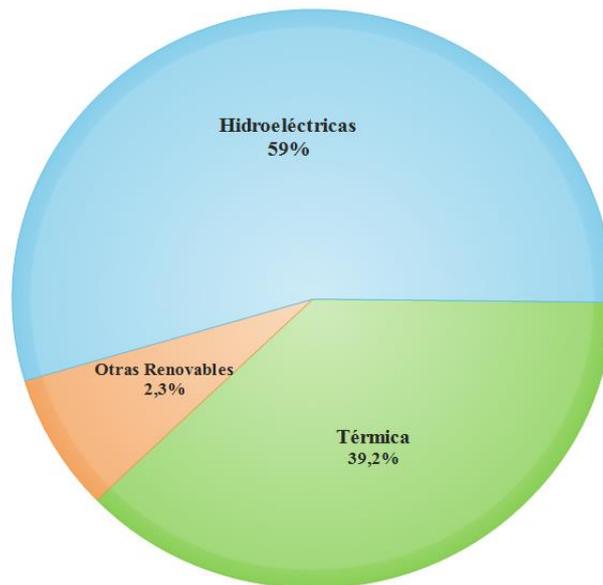


Figura 8 *Generación de energía en Ecuador.*

Se ha identificado que la mayoría de las emisiones de gases de efecto invernadero provienen de los países más poderosos e industrializados, que conforman el G20 y representan el 85% de la economía mundial, siendo responsable del 78% de gases de efecto invernadero (Paoli et al., 2018). En el caso de Ecuador, se han observado tendencias al alza en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) con aumento de 19,3% en las emisiones de dióxido de carbono, pasando de 32.734 toneladas a 39.058 toneladas (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2021). Esto resalta la necesidad de reducir el consumo de combustibles no renovables, siendo el sector transporte el de mayor demanda con 96% de consumo (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2021).

En términos de matriz energética ecuatoriana, la generación de electricidad desempeña un papel significativo para satisfacer la demanda energética del país. Se ha observado un aumento en la inclusión de energías renovables en comparación con el año 2000 (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2021). La matriz eléctrica se compone principalmente de generación hidráulica además, cabe mencionar que el servicio eléctrico satisface a más del 97% de los consumidores, ya que la matriz eléctrica se compone principalmente por generación hidráulica (78,5%), generación térmica a base de combustibles fósiles (18,8%), generación térmica a base de biomasa (1,1%), generación eólica (0,7%) y generación solar (0,1%), y otras fuentes provenientes de interconexiones eléctricas con Colombia y Perú (1,1%) (ver Figura 9) (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2021).

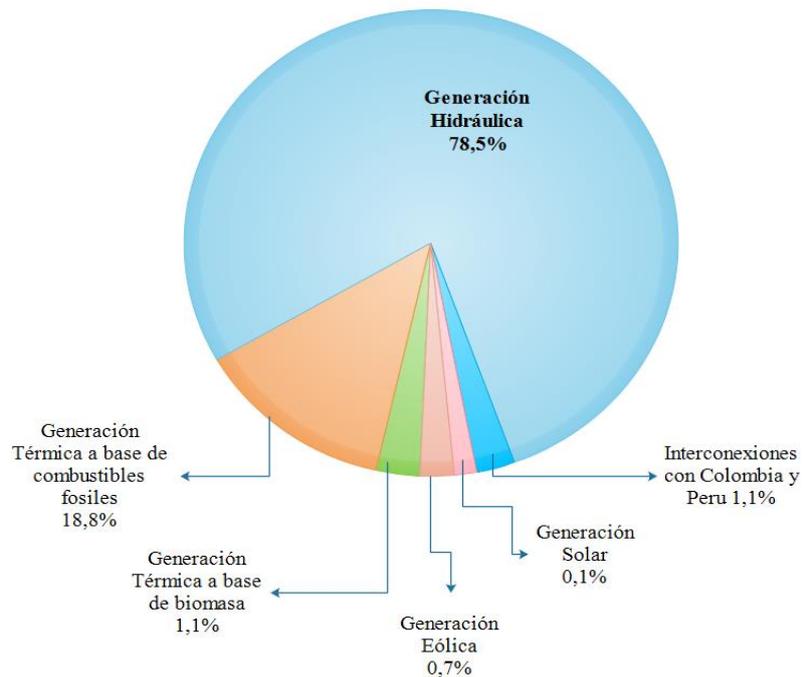


Figura 9 *Matriz eléctrica, generación por tipo de fuente*

Un análisis realizado por (Paoli et al., 2018), muestra que el consumo energético en Ecuador se distribuye de la siguiente manera (ver Figura 10), el 49 % pertenece al sector transporte, el 17% al sector industrial, el 14% al sector residencial, el 6 % al sector comercial y de servicios públicos, el 4% al consumo propio, agricultura, pesca y minería el 2% y el 8% a otros usos.

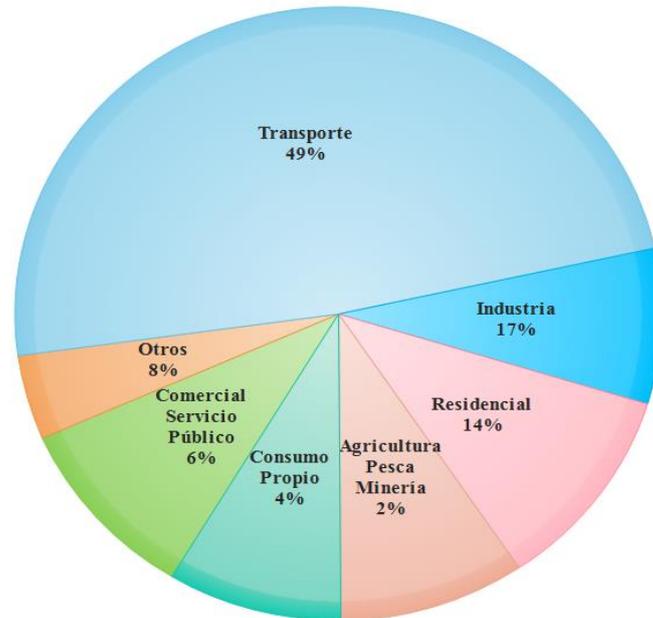


Figura 10 Consumo energía sectorial Nacional (Paoli et al., 2018).

Se ha identificado que Ecuador todavía depende en gran medida del petróleo en su matriz energética, lo que resultaría un aumento proyectado de las emisiones de CO₂ a 46.54 TM en 2030. Sin embargo, el incremento en el uso de la hidroenergía ha desempeñado un papel importante en la reducción de las emisiones de CO₂ (Arroyo & Miguel, 2018).

La provincia de Manabí, en la zona costera de Ecuador, ha sido identificada como una región especialmente vulnerable, pero con un alto potencial para la transmisión de energía solar fotovoltaica. Dada su ubicación geográfica y la falta de otras fuentes renovables, se sugiere considerar la incorporación de la energía solar fotovoltaica como una alternativa parcial a la energía térmica existente en la zona (ver Figura 4) (Cevallos & Ramos, 2018).

En cuanto al consumo energético, se observa un aumento anual del 6,4% en Ecuador entre 2009 y 2021, siendo el diésel y las gasolinas los combustibles de mayor demanda. Los vehículos de gasolina representan la mayoría de las unidades vehiculares, mientras que los vehículos diésel constituyen una porción menor (Paoli et al., 2018).

Las emisiones de gases de efecto invernadero en Ecuador han experimentado un aumento constante, alcanzando un promedio de 1,3 pulgadas por año desde el 2010, con un pico de 2,6 pulgadas en 2019 (Báez, 2020). Esta situación plantea preocupaciones debido al aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y sus consecuencias para la salud y el medio ambiente (Empresa de Investigación Energética de Brasil, 2022). En 2021, las emisiones de CO₂ de Ecuador aumentaron en un 20.89% en comparación con 2020, alcanzando un total de 41.141 megatonnes. Esto posiciona a Ecuador en el puesto 124 en el

ranking mundial de emisiones de CO₂ (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2021).

Al analizar el panorama de las energías renovables en Ecuador, se destaca el papel predominante de la energía hidroeléctrica como principal fuente de suministro. Sin embargo, se observa una falta de proyectos planificados o en ejecución que impide un aumento significativo en la capacidad de energía solar en el corto y mediano plazo. Este escenario se atribuye a políticas enfocadas en la hidroelectricidad, subsidios a los combustibles fósiles para la generación de energía y la falta de financiamiento, los cuales representan obstáculos para la adopción de tecnologías fotovoltaicas a gran escala en Ecuador. A pesar de estos desafíos, la implementación gradual de proyectos de generación de energía fotovoltaica podría eliminar los subsidios en gran medida a los combustibles fósiles principalmente los que se utilizan en centrales térmicas de respaldo, lo que fomentaría la adopción de esta energía en el país considerándose como la fuente más accesible (Hernán & Játiva, 2022).

Los resultados de investigaciones previas han demostrado que actualmente la energía solar fotovoltaica no es competitiva en comparación con el precio promedio de la electricidad para uso doméstico y los costos de producción en las centrales hidroeléctricas. No obstante, se espera que los ahorros sean aún mayores si se consideran los costos ambientales asociados con las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por las centrales térmicas (Costoya et al., 2023).

En este sentido, es crucial que Ecuador mejore su eficiencia energética, dada la importancia de los combustibles fósiles en el consumo de energía en el país. Esto contribuirá a reducir los gastos de la cadena energética principalmente en la importación de combustibles fósiles. Ecuador gasta anualmente alrededor de 3000 millones de dólares anuales en importación de combustibles fósiles y derivados, encaminarnos hacia una eficiencia energética mediante tecnologías como la solar fotovoltaica le representaría al Ecuador un ahorro aproximado anual de 1000 millones de dólares (Ministerio de Economía y Finanzas, 2023).

4.7 Perspectivas energéticas en Ecuador

Dada la necesidad imperante de diversificar el sector energético en Ecuador, especialmente debido a la amenaza de cortes severos en la producción de energía eléctrica causados por la sequía, se enfatiza la importancia de contar con respuestas rápidas y viables en situaciones de estiaje y que mejor manera de contar con generación descentralizada es el caso propuesto por (Álvarez, 2022) y (Alexis & Llanos, 2020). Una posible solución planteada es aumentar la producción de electricidad en las centrales térmicas, debido a su amplia disponibilidad y uso histórico en el país (Hernán & Játiva, 2022), pero que no ayudará hacia una transición energética limpia.

Sin embargo, es fundamental considerar la integración de fuentes de energía renovable no convencionales, como solar, eólica y geotérmica, en la red eléctrica, dado que se considera la solución más rentable a largo plazo para satisfacer la creciente demanda energética en Ecuador. Esto permitiría lograr un desarrollo sostenible y mitigar los impactos ambientales asociados con las fuentes de energía convencionales (Hernán & Játiva, 2022).

4.8 Propuestas de como la energía solar fotovoltaica y las REI pueden contribuir a la diversificación de la matriz energética

En (Ponce, 2019), (Mohaded, 2018) y (Balderramo Vélez & Llosas Albuerne, 2019) se establece una similitud entre las propuestas planteadas y se deriva en que la aplicación de la energía solar fotovoltaica integrada a una REI se puede lograr o acelerar mediante el incentivo económico gubernamental haciéndole cada vez una práctica habitual con la ayuda de profesionales de la rama y estudiantes con acciones propuestas como:

- Inversión económica público-privado.
- Recopilación de información y estudios factibles desarrollados en nuestro territorio en materia de energía renovable mediante paneles solares.
- Importación de conocimientos.
- Desarrollo e integración de generación distribuida mediante paneles solares en zonas o poblados donde el suministro eléctrico es inaccesible, zonas aisladas donde la fuente de electricidad son generadores a base de derivados.
- Seguimiento de la implementación de la generación eléctrica mediante paneles solares y sus sistemas de distribución y almacenamiento, incorporar el sistema de mejoramiento de la distribución por parte de las empresas eléctricas (SIGDE) que permite una mejor calidad de suministro de la energía al usuario.
- Crear mecanismos para incentivar a grandes empresas tanto públicos como privados la incorporación de sistemas fotovoltaicos para autoabastecerse, indispensablemente en horas pico, esta propuesta principalmente en zonas costeras en periodos de alta radiación solar y calor donde el uso del aire acondicionado hace que la demanda de energía eléctrica sea muy alta.

Diversificar la matriz energética mediante la generación distribuida a través de fuentes renovables y hacerla una práctica habitual conlleva varios aspectos que de tomarse en cuenta podrían volverse una realidad en nuestro territorio.

4.8.1 Político

Con el desarrollo de políticas públicas en materia de fuentes de energía renovable contribuiría a superar las dificultades de implementación de estas tecnologías. Los incentivos económicos, baja de aranceles y precios preferentes en materia tecnológica para la adquisición de equipos nos ayudaría a superar las barreras que impiden la puesta en marcha de proyectos de generación de energía eléctrica mediante fuentes renovables. Pedir apoyo o asesoramiento a países desarrollados donde apuestan por estas tecnologías y que ya están en funcionamiento contribuye a una transición entre la energía convencional y tecnologías nuevas. La visión política debe centrarse concretamente en la diversificación de la matriz energética mediante tecnología nuevas y así depender menos del petróleo y derivados, la eliminación de los subsidios a los combustibles sería un primer paso hacia una matriz energética diversificada (Ponce, 2019).

4.8.2 Tecnológico

La incorporación de tecnologías nuevas de generación a la red eléctrica convencional mediante fuentes renovables y REI conlleva ventajas significantes no solo como diversificación de la matriz energética sino un autocontrol de la generación y suministro haciendo del sistema mucho más robusto y confiable. Implementar la energía solar fotovoltaica con una REI conlleva a un desarrollo tecnológico significativo en materia de control, monitoreo de la red eléctrica y la demanda requerida ya que se podría anticipar posibles fallas y posteriormente dar el respectivo correctivo (Ponce, 2019).

4.8.3 Social

Las tecnologías de generación eléctrica mediante fuentes renovables son muy bien vistas por parte de la población urbana ya que le ven como un inicio hacia una transición energética amigable con el medio ambiente. No es así el caso en la población rural que no tiene buena aceptación debido a que la implementación de estas tecnologías necesita de grandes extensiones de terreno para ser instaladas y las poblaciones ven esto como una afectación al medio en el que viven. Concientizar a la población mediante cursos de capacitación de las ventajas que conlleva la implementación de estas nuevas tecnologías de generación eléctrica ayudaría al desarrollo de las mismas (Mohaded, 2018).

5. Conclusiones

De acuerdo al panorama eléctrico nacional basado principalmente en generación hidroeléctrica en un aproximado del 90%, 5% en generación eólica, fotovoltaica y el restante basado en generación termoeléctrica a base de combustibles fósiles y biomasa que se usa como respaldo, surge la necesidad de implementación de tecnologías nuevas como la solar fotovoltaica integrada a una red eléctrica inteligente capaz de suplir la demanda de pequeñas poblaciones proporcionando energía limpia con cero contaminaciones para el medio ambiente. La inclusión de estas tecnologías contribuirá significativamente a la diversificación de la matriz energética nacional, con lo que a futuro se busca la eliminación de la generación termoeléctrica que usa combustible subsidiado lo cual significa una pérdida para el estado.

A lo largo de nuestra historia energética, Ecuador dependía un 70% de la generación a base de combustibles fósiles y un 30% de la central hidroeléctrica Paute. En los últimos 13 años el panorama ha cambiado con la incorporación de nuevas centrales de generación hidroeléctrica con lo cual se ha logrado suplir con éxito la gran demanda creciente de electricidad y dejando de lado a una gran escala el uso de las termoeléctricas. Esto se ha logrado con el aprovechamiento de la geografía de nuestro país que se presta para la implementación de la hidro generación. Tomando en cuenta este antecedente, que mejor manera de continuar con la integración de centrales de generación descentralizadas como la energía solar fotovoltaica aprovechando el recurso solar apto en nuestro país, y así encaminarnos hacia una matriz totalmente verde. La importancia de la implementación de estas tecnologías radica principalmente en dos cosas, salud que conlleva bienestar, y protección al medio ambiente para un futuro sustentable.

La adopción de sistemas fotovoltaicos en las edificaciones puede contribuir a depender menos de la generación convencional. Los avances tecnológicos abren oportunidades para investigar y desarrollar redes eléctricas inteligentes más eficientes, estudiar la confiabilidad y calidad de la energía, optimizar el flujo energético, implementar sistemas de baterías y lograr la integración a gran escala de operaciones de energía renovable. La implementación de las REI con la energía solar fotovoltaica como fuente a la red eléctrica convencional crea un sistema integrado innovador capaz de monitorear a un nivel más alto tanto la red de transmisión y distribución con análisis detallado de la demanda requerida por el usuario y así solventar problemas como sobrecargas en la red.

Aún con la experiencia y tecnología disponible, encontrar la red perfecta es una inversión basada en tiempo, dinero, investigación y pruebas continuas. Con más desarrollo en la investigación de redes eléctricas inteligentes, pueden ser más efectivos los esfuerzos para

lograr la sostenibilidad energética, así como para proteger y preservar el medio ambiente. Mediante un mayor desarrollo en la investigación de redes eléctricas inteligentes, se podrán lograr avances más efectivos hacia la sostenibilidad energética y la protección del medio ambiente. Un cambio en la matriz energética de Ecuador hacia fuentes renovables permitiría estabilizar el gasto público al reducir la dependencia de los combustibles fósiles y los altos subsidios estatales. Además, contribuiría a abordar los desafíos relacionados con el cambio climático.

Es fundamental evaluar detalladamente la sostenibilidad de mantener los subsidios a los combustibles fósiles, ya que esto representa un riesgo anual para el presupuesto gubernamental debido a las fluctuaciones en los precios del petróleo. En este sentido, la implementación de las REI en Ecuador es esencial, dado que es un concepto novedoso en el país. Entre las razones principales para la transición del sistema eléctrico existente a REI se encuentran la seguridad energética, la operación segura de la red, la confiabilidad y la calidad del servicio eléctrico.

Como propuestas formales para hacer realidad la integración de la energía solar fotovoltaica es crear incentivos económicos para quienes promuevan y adopten estas tecnologías, con el autoabastecimiento suficiente y de haber un excedente esta pueda ser inyectada a la red recibiendo una remuneración por parte de las distribuidoras, la eliminación del subsidio a los combustibles es un gran paso para esta adopción pero difícil al mismo tiempo debido a que el estado nos acostumbró a este estilo de vida, ese presupuesto se puede usar para investigación desarrollo e implementación de estas tecnologías.

Reconocimiento

Los autores agradecen a la Universidad de Cuenca por facilitar el acceso a las instalaciones del Laboratorio de Micro-Red del Centro Científico, Tecnológico y de Investigación Balzay (CCTI-B), por permitir hacer uso de sus equipos y por autorizar la provisión de soporte técnico por parte de su personal.

Referencias

- Alexis, R., & Llanos, B. (2020). "LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL EN EL ECUADOR A PARTIR DEL USO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES."
- Álvarez, J. (2022). *Diagnóstico De La Situación De Eficiencia Energética En El Ecuador Y Propuestas De Nuevas Medidas E Indicadores*.
- Andrade, C. (2019). *Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica aplicadas en generación con fuentes renovables, una revisión sistemática de literatura*.
- Arconel. (2023). *AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE LA ELECTRICIDAD*.
- Arencibia, G. (2016). *La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica*. 17.
- Arroyo, F. R., & Miguel, L. J. (2018). *Análisis de la variación de las emisiones de CO 2 y posibles escenarios al 2030 en Ecuador Analysis of the variation of CO 2 emissions and possible scenarios to 2030 in Ecuador*.
- Constitución de la República del Ecuador, (2008).
- Báez, R. (2020). *Opinión de empresas de autotransporte de pasajeros en México, eficiencia energética, reducción de CO2 y su efecto económico*. 18.
- Balderramo Vélez, N. R., & Llosas Albuérne, Y. E. (2019). *Diseño de Redes Eléctricas Inteligentes para una Gestión Energética*.
- Borràs, J. G., Lerma, C., Mas, Á., Vercher, J., & Gil, E. (2022). Contribution of green roofs to energy savings in building renovations. *Energy for Sustainable Development*, 71, 212–221. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.09.020>
- Broers, W., Kemp, R., Vasseur, V., & Markantoni, M. (2023). *Crossing multiple solar energy gaps: A Dutch case study on intermediation for building-integrated photovoltaics*.
- Celec EP. (2023). *Corporación Eléctrica del Ecuador*.
- Cevallos, J., & Ramos, J. (2018). *Spatial assessment of the potential of renewable energy: The case of Ecuador*. 81.
- Corporación Nacional de Electricidad. (2023). *Afectación de los Aires Acondicionados en la red Eléctrica de Distribución*.
- Costoya, X., deCastro, M., & Carvalho, D. (2023). *Assessing the complementarity of future hybrid wind and solar photovoltaic energy resources for North America*. 173.
- ElecAustro S.A. (2023). *Electro Generadora del Austro S.A.*
- Empresa de Investigación Energética de Brasil. (2022). *Matriz Energética e Eléctrica*. <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>
- Enlight. (2023). *Energía solar: Perspectiva 2023 en México y el mundo*. <https://www.enlight.mx/blog/energia-solar-perspectiva-2023-en-mexico-y-el-mundo#panorama-en-mexico>

- Fang, W., & Tian, Y. (2023). *Synergetic performance improvement of a novel building integrated photovoltaic/thermal-energy pile system for co-utilization of solar and shallow-geothermal energy*. 288.
- Gómez, V. A., Hernández, C., & Rivas, E. (2018). Overview, Features and Functionalities of the Smart Grid. *Información Tecnológica*, 29(2), 89–102. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642018000200089>
- Hernán, L., & Játiva, Á. (2022). *Situación y perspectivas de las Energías Renovables y de las medidas de Eficiencia Energética en la República del Ecuador*.
- Jara, J. (2021). *Potencial Solar Fotovoltaico del Ecuador*.
- Khalil, A., Ahmad, K., & Rawan, A.-S. (2023). *A comprehensive review of advanced hybrid technologies that improvement the performance of solar dryers: Photovoltaic/thermal panels, solar collectors, energy storage materials, biomass, and desalination units*. 253.
- Kobus, C., Klaassen, E., Mugge, R., & Schoormans, J. (2015). *A real-life assessment on the effect of smart appliances for shifting households' electricity demand*. 147.
- López, O. (2020). *Energías Renovables Como Estrategia Para La Diversificación De La Matriz Energética De Colombia*.
- Magaña, D. (2019). *Combinación de un enfoque de gravedad y de bienestar para la evaluación de la transición solar en Chile*.
- Medina, R. (2018). *Plan de Gestión de Eficiencia Energética en el Campus Granados de la Universidad de las Américas*.
- Meer. (2020). *Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. Plan Maestro de Electricidad 2016-2025*.
- Mier, Á. (2018). *Estudio sobre la relación entre infraestructuras de telecomunicaciones y sistemas de energía renovable*.
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2023). *Ministerio de Economía y Finanzas*.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2020). *Balance Energético Nacional*.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2021). *Balance Energético Nacional*.
- Ministerio de Energía y Minas. (2020). *PLAN MAESTRO DE ELECTRICIDAD*.
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2023). *Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables*.
- Mohaded, M. (2018). *DIVERSIFICACION DE LA MATRIZ ENERGETICA*.
- Muestes, K., Pereira Jhon, Rivadeneira, R., & Moreira, C. (2022). *Factores determinantes de las emisiones de CO2 en los sectores industrial y transporte en Ecuador*. 16.
- Ordoñez, M. (2021). *Diseño de un sistema de iluminación con energía solar fotovoltaica para la Universidad Antonio Nariño sede Cúcuta*.
- Paoli, L., Lupton, R. C., & Cullen, J. M. (2018). *Useful energy balance for the UK: An*

uncertainty analysis. *Applied Energy*, 228, 176–188.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.063>

Ponce, M. (2019). *La Energía Solar Fotovoltaica Distribuida y las Smart Grid como Modelo para Diversificar la Matriz Energética del Ecuador*.

Pupuche, M. (2022). *Perfil de viabilidad de una planta de energía solar en el SEIN del Perú – Enfoque de generación distribuida*.

Qinlong, R., Hanyu, H., & Qin, Z. (2023). *Hybrid solar photovoltaic and salinity-gradient based osmotic energy conversion system with synergistic performance enhancement*. 283.

Ringwood, J. V., Zhan, S., & Faedo, N. (2023). *Empowering wave energy with control technology: Possibilities and pitfalls*. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2023.04.004>

Shahzad, Y., Javed, H., Farman, H., Ahmad, J., Jan, B., & Zubair, M. (2020). *Internet of Energy: Opportunities, applications, architectures and challenges in smart industries*. 86.

Sharmin, T., Khan, N. R., Akram, M. S., & Ehsan, M. M. (2023). A State-of-the-Art Review on Geothermal Energy Extraction, Utilization, and Improvement Strategies: Conventional, Hybridized, and Enhanced Geothermal Systems. In *International Journal of Thermofluids* (Vol. 18). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2023.100323>

VosViewer. (2023). *VosViewer*. <https://www.vosviewer.com/>

World Meteorological Organization. (2022). *World Meteorological Organization*.

Xinyu, P., & Xiaoze, D. (2023). *Energy tracing of solar cells for spectral-beam-splitting photovoltaic/thermal (PVT) systems*. 345.

Youssef, E., & Abdellah, E. F. (2023). *Solar and Photovoltaics Energy Utilization and Sustainability*.

Zhang, Y., Chang, R., Zuo, J., Shabunko, V., & Zheng, X. (2023). Regional disparity of residential solar panel diffusion in Australia: The roles of socio-economic factors. *Renewable Energy*, 206, 808–819. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.02.111>