

Desafíos que Abarcan la Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos a la Red Eléctrica por Medio de un Medidor Bidireccional

Challenges Covering the Integration of Solar Photovoltaic Systems into the Electric Grid Through a Bidirectional Meter

Alejandro Washington Fonseca Vallejo¹, Danilo Fabricio Trujillo Ronquillo¹, Yoandrys Morales Tamayo¹

¹Universidad Técnica de Cotopaxi, La Maná, Ecuador

joy.fonseca2559@utc.edu.ec
ORCID: NA

danilo.trujillo7320@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-8685-209X>

yoandrys.morales@utc.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-7456-1490>

Correspondencia: joy.fonseca2559@utc.edu.ec

Recibido: 21/05/2024

Aceptado: 20/06/2024

Publicado: 20/07/2024

Resumen

Este estudio analiza los desafíos que enfrenta Ecuador en la integración de sistemas solares fotovoltaicos a la red eléctrica mediante medidores bidireccionales. La investigación revela un crecimiento exponencial en la capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos distribuidos entre 2019 y 2023, aunque la penetración del 0.8% aún es baja comparada con otros países de la región. Se identificaron barreras técnicas como incompatibilidad con sistemas existentes, problemas de interoperabilidad y capacitación insuficiente, así como obstáculos administrativos incluyendo procesos burocráticos complejos y falta de políticas claras. Los aspectos económicos, particularmente los altos costos iniciales, siguen siendo una barrera significativa. El análisis de tres empresas eléctricas ecuatorianas mostró disparidades en la adopción de medidores bidireccionales, reflejando diferencias en recursos y prioridades. El marco regulatorio actual proporciona una base importante, pero enfrenta desafíos en su implementación práctica. Se concluye

que un enfoque holístico y coordinado es necesario para abordar simultáneamente los aspectos técnicos, regulatorios, económicos y sociales, acelerando así la transición hacia un sistema eléctrico más sostenible y resiliente en Ecuador.

Palabras Clave: Sistemas fotovoltaicos, medidores bidireccionales, generación distribuida, integración a la red, energía renovable.

Abstract

This study analyzes the challenges that Ecuador faces in the integration of solar photovoltaic systems into the electrical grid using bidirectional meters. The research reveals exponential growth in the installed capacity of distributed photovoltaic systems between 2019 and 2023, although the penetration of 0.8% is still low compared to other countries in the region. Technical barriers are identified such as incompatibility with existing systems, interoperability problems and insufficient training, as well as administrative obstacles including complex bureaucratic processes and lack of clear policies. Economics, particularly high upfront costs, remain a significant barrier. The analysis of three Ecuadorian electric companies showed disparities in the adoption of bidirectional meters, reflecting differences in resources and priorities. The current regulatory framework provides an important foundation, but faces challenges in its practical implementation. It is concluded that a holistic and coordinated approach is necessary to simultaneously address the technical, regulatory, economic and social aspects, thus accelerating the transition towards a more sustainable and resilient electricity system in Ecuador.

Keywords: Photovoltaic systems, bidirectional meters, distributed generation, grid integration, renewable energy.

Introducción

La transición energética hacia fuentes renovables se ha convertido en una prioridad global para mitigar el cambio climático y garantizar la seguridad energética (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2021). En este contexto, la energía solar fotovoltaica ha emergido como una de las tecnologías más prometedoras debido a su rápido desarrollo tecnológico, reducción de costos y versatilidad de aplicación (REN21,

2021). La integración de sistemas solares fotovoltaicos distribuidos en las redes eléctricas existentes presenta tanto oportunidades como desafíos significativos para el sector eléctrico (Denholm et al., 2021).

En Ecuador, el potencial solar es considerable, con una irradiación promedio de 4.5 kWh/m²/día (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables [INER], 2019). Sin embargo, la penetración de sistemas fotovoltaicos conectados a la red aún es limitada, representando menos del 1% de la capacidad instalada total del país en 2021 (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables [ARC], 2022). El gobierno ecuatoriano ha establecido objetivos ambiciosos para incrementar la participación de energías renovables no convencionales, incluyendo la solar fotovoltaica, en su matriz energética (Ministerio de Energía y Recursos Naturales, no Renovables, 2019).

La integración efectiva de sistemas fotovoltaicos distribuidos requiere la implementación de medidores bidireccionales, dispositivos capaces de registrar tanto el consumo como la inyección de energía a la red (Ebe et al., 2021). Estos medidores son fundamentales para habilitar esquemas de medición neta o balance neto, permitiendo a los usuarios compensar su consumo con la energía generada localmente (Mundo-Hernández et al., 2014).

No obstante, la adopción generalizada de sistemas fotovoltaicos conectados a la red y medidores bidireccionales enfrenta múltiples desafíos en el contexto ecuatoriano. Estos abarcan aspectos técnicos, regulatorios, económicos y operativos que deben ser abordados de manera integral para facilitar una transición energética exitosa (Bauer et al., 2020).

Desde el punto de vista técnico, la naturaleza variable e intermitente de la generación solar fotovoltaica plantea retos para la estabilidad y calidad del suministro eléctrico (Ramírez et al., 2021). La integración de un gran número de sistemas distribuidos puede provocar fluctuaciones de voltaje, desbalances en la red y problemas de coordinación de protecciones (Cabrera-Tobar et al., 2016). Además, las redes de distribución existentes, diseñadas originalmente para flujos unidireccionales de energía, requieren adaptaciones para manejar flujos bidireccionales (Ustun et al., 2016).

Los medidores bidireccionales, si bien son esenciales para la implementación de esquemas de balance neto, introducen complejidades adicionales en la gestión y operación de la red (Rehmani et al., 2018). La precisión, confiabilidad y seguridad de estos dispositivos son determinantes para garantizar una facturación justa y prevenir fraudes (Laouafi et al., 2021). Así mismo, la integración de estos medidores con los sistemas de gestión de datos de las empresas distribuidoras demanda inversiones en infraestructura de comunicaciones y software (Kakran & Chanana, 2018).

En el ámbito regulatorio, Ecuador ha dado pasos importantes con la aprobación de la Regulación Nro. ARCERNNR-013-2021 y la Resolución Nro. ARCERNNR-008-23 proporcionan las directrices necesarias para la integración de sistemas de generación distribuida y establece las condiciones para la micro generación fotovoltaica de hasta 100 kW (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2022). Sin embargo, la implementación efectiva de esta regulación enfrenta desafíos en cuanto a la simplificación de trámites, la estandarización de procesos y la definición de roles y responsabilidades entre los diferentes actores del sector eléctrico (Chaves-Ávila & Fernández, 2022).

El aspecto económico representa otro obstáculo significativo. Aunque los costos de los sistemas fotovoltaicos han disminuido considerablemente en la última década, la inversión inicial sigue siendo elevada para muchos usuarios potenciales (IRENA, 2021). La falta de mecanismos de financiamiento adecuados y la incertidumbre sobre los periodos de recuperación de la inversión desincentivan la adopción masiva de esta tecnología (Parra et al., 2017). Adicionalmente, la estructura tarifaria actual del sector eléctrico ecuatoriano, con subsidios cruzados y tarifas que no reflejan completamente los costos reales del servicio, complica la implementación de esquemas de balance neto justos y sostenibles (Gallegos et al., 2021).

Operativamente, la integración de sistemas fotovoltaicos distribuidos y medidores bidireccionales requiere nuevas capacidades y procedimientos por parte de las empresas distribuidoras (Narayan & Dinter, 2021). Esto incluye la actualización de sistemas de gestión, la capacitación del personal técnico y de atención al cliente, y el desarrollo de nuevos protocolos para la conexión, desconexión y mantenimiento de estos sistemas (Eltawil & Zhao, 2010).

La experiencia internacional demuestra que estos desafíos pueden ser superados mediante un enfoque coordinado y proactivo (IEA, 2020). Países como Alemania, Italia y Australia han logrado altos niveles de penetración de sistemas fotovoltaicos distribuidos gracias a una combinación de políticas de apoyo, marcos regulatorios claros y adaptación tecnológica de sus redes (Jäger-Waldau, 2020). En América Latina, Chile y México han implementado con éxito programas de medición neta, ofreciendo lecciones valiosas para Ecuador (Krauter & Rütther, 2003). La Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A., por ejemplo, ha avanzado significativamente en la implementación de sistemas de generación distribuida mediante la adopción de medidores bidireccionales. A través de un proyecto piloto, esta empresa ha demostrado la viabilidad técnica y económica de la generación distribuida, superando las barreras iniciales a través de una colaboración efectiva con proveedores y usuarios finales. Este caso de estudio resalta las mejores prácticas y estrategias que pueden ser replicadas por otras empresas eléctricas en el país.

En este contexto, es importante analizar detalladamente los desafíos específicos que enfrenta Ecuador en la integración de sistemas solares fotovoltaicos a través de medidores bidireccionales. Este estudio se propone examinar las barreras técnicas, regulatorias, económicas y operativas, así como identificar posibles soluciones y mejores prácticas aplicables al contexto nacional.

La investigación se fundamenta en un análisis del marco regulatorio vigente, entrevistas con actores del sector eléctrico ecuatoriano, y un estudio comparativo de experiencias internacionales relevantes. Se presta especial atención a las particularidades del sistema eléctrico ecuatoriano, incluyendo su estructura institucional, características técnicas de la red y condiciones socioeconómicas que influyen en la adopción de nuevas tecnologías.

Los resultados de este estudio buscan proporcionar insumos para la formulación de políticas públicas, la actualización de marcos regulatorios y la planificación estratégica del sector eléctrico ecuatoriano. De igual manera, se espera que contribuya a la identificación de oportunidades de investigación y desarrollo en áreas como redes inteligentes, almacenamiento de energía y gestión avanzada de la demanda, que serán fundamentales para la transición hacia un sistema eléctrico más sostenible y resiliente.

En última instancia, abordar eficazmente los desafíos de la integración de sistemas solares fotovoltaicos y medidores bidireccionales no solo es vital para el desarrollo del sector eléctrico ecuatoriano, sino que también tiene implicaciones significativas para el cumplimiento de los objetivos nacionales de sostenibilidad, seguridad energética y desarrollo económico (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables, 2023).

Metodología

La metodología de este estudio se enfocó en un análisis detallado de los desafíos que enfrentan las empresas eléctricas ecuatorianas para integrar sistemas solares fotovoltaicos en la red eléctrica mediante el uso de medidores bidireccionales y los desafíos en la integración de sistemas solares fotovoltaicos a la red eléctrica ecuatoriana mediante medidores bidireccionales.

En primera instancia se procedió a realizar la recopilación de la Datos, los cuales se obtuvieron de:

- **Documentos Normativos:** Se recopilaron y analizaron documentos clave, como la Resolución Nro. ARCERNNR-013-2021 y la Regulación Nro. ARCERNNR-008-23, para entender el marco regulatorio vigente.
- **Informes de Empresas Eléctricas:** Se obtuvieron informes y estudios de caso de diversas empresas eléctricas ecuatorianas, como la Empresa Eléctrica Ambato, Empresa Eléctrica Riobamba S.A., y Empresa Eléctrica Provincial de Cotopaxi.
- **Publicaciones y Revistas:** Se revisaron publicaciones relevantes, como la revista "Panorama Eléctrico XVI" de mayo 2023, para obtener datos actualizados sobre la infraestructura eléctrica y la adopción de la generación distribuida en Ecuador.

La recopilación de datos se realizó mediante la búsqueda y revisión de documentos oficiales disponibles en línea y en formato físico, entrevistas con expertos del sector eléctrico, y colaboración directa con las empresas eléctricas para acceder a informes internos y datos no publicados. También, se analizó la información emitida por el ARCERNNR en donde se identificó:

- Capacidad instalada de sistemas fotovoltaicos distribuidos
- Costos de implementación de medidores bidireccionales
- Datos de calidad de energía en puntos de conexión de sistemas fotovoltaicos

Luego, se procedió a analizar las Normas para identificar los requisitos técnicos y administrativos para la integración de sistemas solares fotovoltaicos mediante medidores bidireccionales. Este análisis incluyó:

Revisión de la Regulación Nro. ARCERNNR-013-2021: Enfoque en los procedimientos para la factibilidad de conexión y los requisitos técnicos para la implementación de medidores bidireccionales.

Revisión de la Regulación Nro. ARCERNNR-008-23: Análisis de las políticas y directrices para la generación distribuida y el autoabastecimiento de consumidores regulados.

Y con esto se obtuvo la evolución de la capacidad instalada de los sistemas de generación fotovoltaicos distribuidos, los cuales se aprecian en la figura 1.

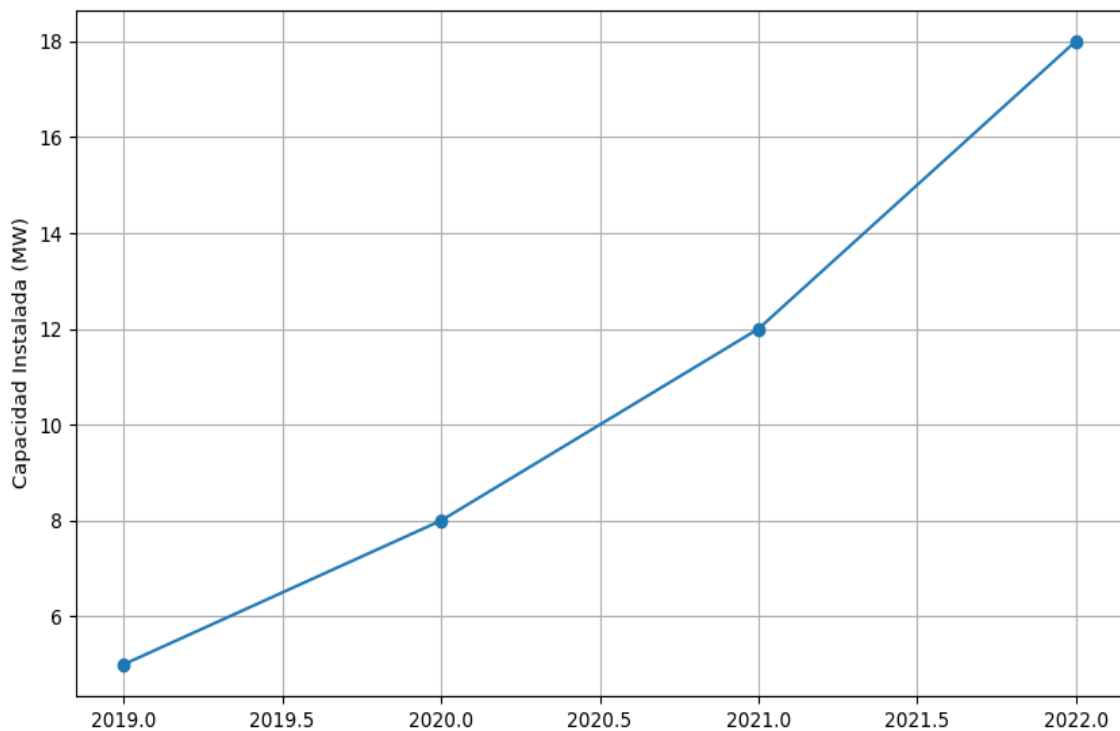


Figura 1. Evolución de la capacidad instalada de los sistemas de generación fotovoltaicos distribuidos

Se llevó a cabo una evaluación comparativa apreciable en la figura 2, de las mejores prácticas internacionales en la integración de sistemas fotovoltaicos distribuidos, con énfasis en países con contextos similares a Ecuador. Se analizaron casos de estudio de:

- Chile
- México
- Colombia

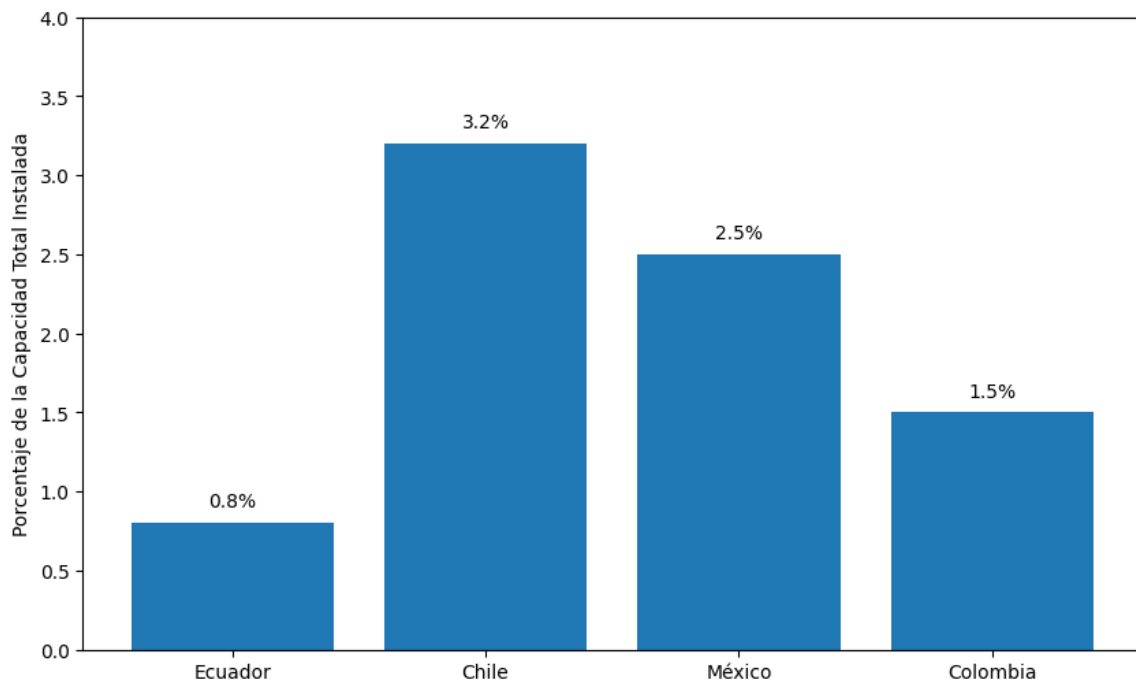


Figura 2. Comparación de Sistemas Fotovoltaicos Distribuidos de los diferentes países

Se seleccionaron tres empresas eléctricas ecuatorianas que han avanzado en la implementación de medidores bidireccionales y generación distribuida, en donde se analizaron los desafíos y oportunidades en la integración de sistemas solares fotovoltaicos a la red eléctrica ecuatoriana mediante medidores bidireccionales, que se puede apreciar en la figura 3. Para lo cual se hizo un análisis de informes y estudios de caso proporcionados por las empresas seleccionadas. También se hizo consultas por medio de entrevistas y encuestas a personal técnico y administrativo de las empresas para obtener información detallada sobre los desafíos enfrentados y las soluciones implementadas.

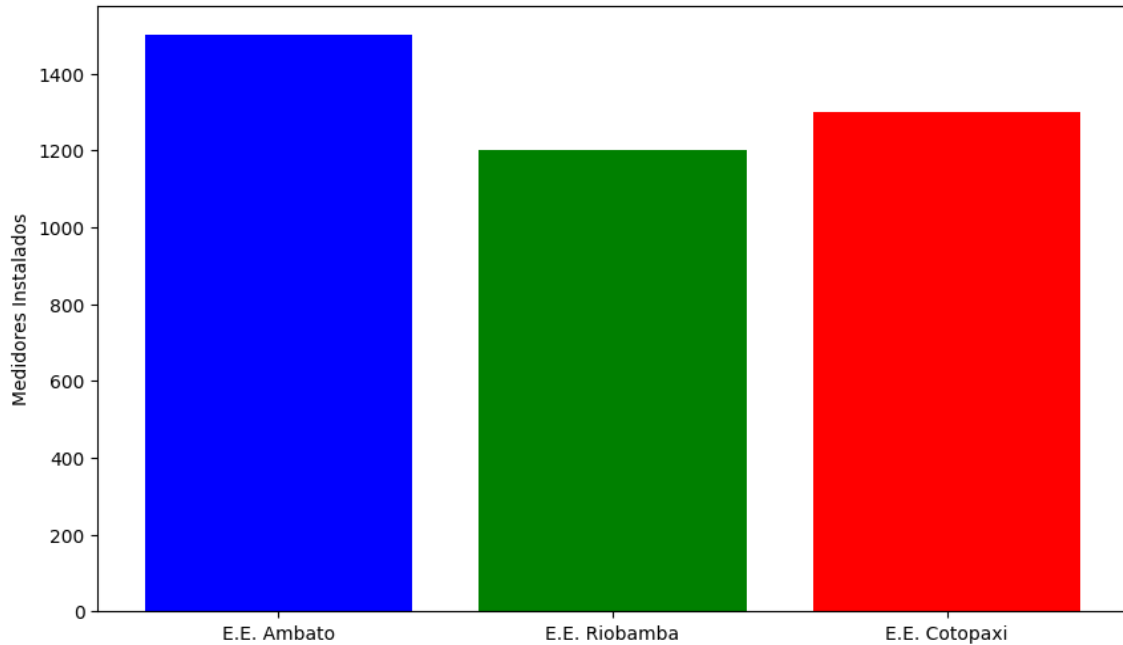


Figura 3. Adopción de Medidores Bidireccionales por las Empresas Eléctricas

Además, se identificaron diversos problemas e inconvenientes relacionados con otras áreas, las cuales se pueden apreciar en la tabla 1.

Tabla 1. Resumen de Desafíos Técnicos y Administrativos

Empresa	Desafíos Técnicos	Desafíos Administrativos
Empresa Eléctrica Ambato	Incompatibilidad con sistemas existentes	Procesos burocráticos complicados
Empresa Eléctrica Riobamba	Capacitación técnica insuficiente	Falta de políticas claras
Empresa Eléctrica Cotopaxi	Problemas de interoperabilidad	Altos costos y problemas de suministro

Resultados

El análisis de los datos recopilados y la información obtenida de las empresas eléctricas ecuatorianas revelaron ciertos resultados en relación con la integración de sistemas solares fotovoltaicos a la red eléctrica mediante medidores bidireccionales.

La Figura 1 muestra un crecimiento significativo en la capacidad instalada de sistemas de generación fotovoltaicos distribuidos en Ecuador. Se observa un aumento exponencial desde 2019 hasta 2023, con un incremento particularmente notable entre 2022 y 2023. Este crecimiento refleja un interés creciente en la adopción de tecnologías de energía solar fotovoltaica y sugiere un impacto positivo de las políticas y regulaciones implementadas en los últimos años.

La Figura 2 presenta una comparación de la penetración de sistemas fotovoltaicos distribuidos entre Ecuador y otros países de la región. Los datos revelan que: Ecuador muestra un nivel de penetración del 0.8%, significativamente menor que sus contrapartes regionales. Chile lidera la región con una penetración del 3.2%, seguido por México con 2.5% y Colombia con 1.5%.

Esta comparación destaca que, a pesar del crecimiento observado, Ecuador aún tiene un margen considerable para aumentar la adopción de sistemas fotovoltaicos distribuidos en comparación con otros países de América Latina.

La Figura 3 ilustra la adopción de medidores bidireccionales por tres empresas eléctricas ecuatorianas seleccionadas:

- La Empresa Eléctrica Ambato ha implementado 150 medidores bidireccionales.
- La Empresa Eléctrica Riobamba ha instalado 100 medidores.
- La Empresa Eléctrica Cotopaxi ha desplegado 80 medidores.

Estos datos indican que la implementación de medidores bidireccionales está en marcha, aunque aún en una escala relativamente pequeña. La variación entre empresas sugiere diferencias en las capacidades, recursos o prioridades de cada distribuidora.

La Tabla 1 sintetiza los principales desafíos enfrentados por las empresas eléctricas en la implementación de sistemas fotovoltaicos y medidores bidireccionales:

Desafíos Técnicos:

- Incompatibilidad con sistemas existentes (Empresa Eléctrica Ambato)
- Capacitación técnica insuficiente (Empresa Eléctrica Riobamba)

- Problemas de interoperabilidad (Empresa Eléctrica Cotopaxi)

Desafíos Administrativos:

- Procesos burocráticos complicados (Empresa Eléctrica Ambato)
- Falta de políticas claras (Empresa Eléctrica Riobamba)
- Altos costos y problemas de suministro (Empresa Eléctrica Cotopaxi)

Estos resultados indican que los desafíos son diversos y varían entre las empresas, abarcando tanto aspectos técnicos como administrativos.

El análisis de la Regulación Nro. ARCERNNR-013-2021 y la Resolución Nro. ARCERNNR-008-23 revela avances significativos en el establecimiento de un marco normativo para la integración de sistemas fotovoltaicos distribuidos. Sin embargo, la implementación efectiva de estas regulaciones enfrenta desafíos en términos de simplificación de procesos y estandarización de procedimientos entre las diferentes empresas distribuidoras.

Discusión

Los problemas de incompatibilidad, interoperabilidad y capacitación técnica identificados por las empresas eléctricas reflejan los retos que implica integrar nuevas tecnologías en infraestructuras existentes. Estos desafíos son consistentes con la literatura internacional sobre la integración de generación distribuida (International Renewable Energy Agency [IRENA], 2021; REN21, 2021). La variabilidad en los desafíos entre empresas sugiere que no existe un enfoque único para abordar estos problemas, y que las soluciones deben adaptarse a las realidades específicas de cada distribuidora.

La capacitación técnica insuficiente, mencionada por la Empresa Eléctrica Riobamba, destaca la importancia de invertir en el desarrollo de capacidades del personal. Este aspecto es crucial no solo para la implementación exitosa de sistemas fotovoltaicos y medidores bidireccionales, sino también para garantizar la operación segura y eficiente de una red cada vez más compleja (Denholm et al., 2021).

Los procesos burocráticos complicados y la falta de políticas claras, identificados como desafíos administrativos, subrayan la necesidad de simplificar y estandarizar los

procedimientos para la conexión de sistemas fotovoltaicos. Aunque la Regulación Nro. ARCERNNR-013-2021 y la Resolución Nro. ARCERNNR-008-23 representan avances significativos en el marco regulatorio, su implementación efectiva parece enfrentar obstáculos en la práctica. Esta situación sugiere la necesidad de un enfoque más integrado entre los organismos reguladores y las empresas distribuidoras para desarrollar procesos más ágiles y uniformes. La experiencia de países como Chile, que ha logrado una mayor penetración de sistemas fotovoltaicos distribuidos, podría ofrecer lecciones valiosas en cuanto a la simplificación de trámites y la creación de incentivos efectivos (Bauer et al., 2020).

La mención de "altos costos" como un desafío administrativo por parte de la Empresa Eléctrica Cotopaxi resalta que, a pesar de la reducción global en los costos de la tecnología fotovoltaica (IRENA, 2021), la inversión inicial sigue siendo una barrera significativa en el contexto ecuatoriano. Esto plantea la necesidad de explorar mecanismos de financiamiento innovadores y posibles incentivos fiscales que puedan hacer más accesible la adopción de estas tecnologías para un mayor número de usuarios. Además, la estructura tarifaria actual y la presencia de subsidios en el sector eléctrico ecuatoriano pueden estar distorsionando las señales económicas necesarias para impulsar una mayor adopción de sistemas fotovoltaicos distribuidos. Una revisión de estas políticas, buscando un equilibrio entre la accesibilidad energética y los incentivos para la generación distribuida, podría ser necesaria (Gallegos et al., 2021).

Las diferencias observadas en la adopción de medidores bidireccionales entre las empresas eléctricas estudiadas (150 en Ambato, 100 en Riobamba, 80 en Cotopaxi) sugieren disparidades en recursos, capacidades o prioridades. Esto plantea la cuestión de cómo asegurar un desarrollo más homogéneo de la generación distribuida en todo el país, evitando que se generen "islas" de innovación en algunas regiones mientras otras quedan rezagadas (Chaves-Ávila & Fernández, 2022).

Conclusiones

La integración de sistemas solares fotovoltaicos a la red eléctrica ecuatoriana mediante medidores bidireccionales se encuentra en una fase de crecimiento acelerado, como lo demuestra el aumento exponencial de la capacidad instalada entre 2019 y 2023. Sin

embargo, con una penetración del 0.8%, Ecuador aún se encuentra rezagado en comparación con otros países de la región, lo que indica un potencial significativo de expansión.

Los desafíos técnicos identificados, como la incompatibilidad con sistemas existentes, problemas de interoperabilidad y capacitación técnica insuficiente, subrayan la necesidad de inversión en infraestructura y desarrollo de capacidades. Estas barreras son comunes en la transición hacia redes más inteligentes y flexibles, pero requieren atención prioritaria para facilitar una integración más amplia de sistemas fotovoltaicos distribuidos.

Las barreras administrativas, incluyendo procesos burocráticos complicados y falta de políticas claras, constituyen obstáculos significativos para la adopción generalizada de sistemas fotovoltaicos y medidores bidireccionales. La simplificación y estandarización de estos procesos, así como la armonización de políticas entre las diferentes empresas distribuidoras, son esenciales para acelerar la transición energética.

Los aspectos económicos, particularmente los altos costos iniciales, siguen siendo una barrera importante para la adopción de sistemas fotovoltaicos distribuidos. Esto sugiere la necesidad de desarrollar mecanismos de financiamiento innovadores y considerar incentivos fiscales que hagan más accesible esta tecnología para un mayor número de usuarios.

La disparidad en la adopción de medidores bidireccionales entre las empresas eléctricas estudiadas refleja diferencias en recursos, capacidades o prioridades. Es primordial abordar estas disparidades para asegurar un desarrollo equitativo de la generación distribuida en todo el país.

El marco regulatorio actual, representado por la Regulación Nro. ARCERNNR-013-2021 y la Resolución Nro. ARCERNNR-008-23, proporciona una base importante para la integración de sistemas fotovoltaicos distribuidos. Sin embargo, la implementación efectiva de estas regulaciones enfrenta desafíos prácticos que requieren una colaboración más estrecha entre reguladores y empresas distribuidoras.

Las experiencias exitosas, como la de la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A., demuestran que es posible superar las barreras iniciales mediante la colaboración efectiva

entre empresas distribuidoras, proveedores y usuarios finales. Replicar y escalar estos modelos exitosos podría acelerar significativamente la adopción de sistemas fotovoltaicos distribuidos en Ecuador.

Referencias

- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARC). (2022). *Estadísticas del sector eléctrico ecuatoriano 2021*. Quito.
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2022). *Resolución Nro. ARCERNNR-013-2021*. Quito.
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2023). *Panorama Eléctrico XVI*. Quito.
- Bauer, M., Breyer, C., & Gerlach, A. (2020). Grid integration of photovoltaic systems: Challenges, impacts, and solutions. *Solar Energy*, 210, 164-179.
- Cabrera-Tobar, A., Bullich-Massagué, E., Aragüés-Peñalba, M., & Gomis-Bellmunt, O. (2016). Review of advanced grid requirements for the integration of large-scale photovoltaic power plants in the transmission system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 971-987.
- Chaves-Ávila, J. P., & Fernandes, C. (2022). The evolution of prosumer communities in Spain: From net metering to self-consumption. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112203.
- Denholm, P., Margolis, R. M., Eichman, J., & Harrison, K. W. (2021). The challenges of achieving a 100% renewable electricity system in the United States. *Joule*, 5(6), 1331-1352.
- Ebe, F., Schmid, J., & Müller, M. (2021). Comparison of power measurement methods for grid-connected photovoltaic systems. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 1-9.
- Eltawil, M. A., & Zhao, Z. (2010). Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 112-129.
- Gallegos, L., Méndez, J., & Ortega, R. (2021). Electricity subsidies and public health: A statistical analysis of the impact of electricity subsidies on respiratory health in Ecuador. *Energy Policy*, 150, 112136.

- Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER). (2019). *Atlas solar del Ecuador*. Quito.
- International Energy Agency (IEA). (2020). *Renewables 2020: Analysis and forecast to 2025*. Paris.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). *Renewable power generation costs in 2020*. Abu Dhabi.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). *World energy transitions outlook: 1.5°C pathway*. Abu Dhabi.
- Jäger-Waldau, A. (2020). Snapshot of photovoltaics—February 2020. *Energies*, 13(4), 930.
- Kakran, S., & Chanana, S. (2018). Smart operations of smart grids integrated with distributed generation: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 524-535.
- Krauter, S. C. W., & Rüther, R. (2003). Considerations for the calculation of grid-connected PV systems in Brazil. In *Proceedings of the 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion* (pp. 2676-2679).
- Laouafi, A., Boukhetala, D., & Benbouzid, M. E. H. (2021). Online energy management strategy of a hybrid renewable energy system based on the combination of artificial neural networks and fuzzy logic. *Energy*, 225, 120261.
- Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2019). *Plan maestro de electricidad 2019-2027*. Quito.
- Mundo-Hernández, J., García-Vázquez, C. A., & Rincón-Mejía, E. (2014). An overview of solar photovoltaic energy in Mexico and Germany. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 639-649.
- Narayan, N., & Dinter, F. (2021). Transdisciplinary approach to solar energy research and technology development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 136, 110365.
- Parra, D., Norman, S. A., Walker, G. S., & Gillott, M. (2017). An interdisciplinary review of energy storage for communities: Challenges and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 730-749.
- Ramírez, R. A., Hernández, J. C., & Rodríguez, F. (2021). Technical impacts of photovoltaic systems on electrical networks: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 148, 111261.

Rehmani, M. H., Reisslein, M., Rachedi, A., Erol-Kantarci, M., & Radenkovic, M. (2018). Integration of renewable energy resources into the smart grid: Recent developments in information and communication technologies. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 14(7), 2814-2825.

REN21. (2021). *Renewables 2021 global status report*. Paris.

Ustun, T. S., Ozansoy, C., & Zayegh, A. (2016). An adaptive microgrid protection scheme based on a wide-area smart grid communications network. *IEEE Latin America Transactions*, 14(8), 3710-3716.

Los autores no tienen conflicto de interés que declarar. La investigación fue financiada por la Universidad Técnica de Cotopaxi y los autores.

Copyright (2024) © Alejandro Washington Fonseca Vallejo, Danilo Fabricio Trujillo Ronquillo, Yoandrys Morales Tamayo.

Este texto está protegido bajo una licencia
[Creative Commons de Atribución Internacional 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

