

ECONOMÍA RESIDENCIAL: IMPACTO EN LA IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS

RESIDENTIAL ECONOMY: IMPACT OF ALTERNATIVE ENERGY IMPLEMENTATION

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14804459>

AUTOR:

Henry Moyano-Bojorque^{1*}

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: henrry.moyano@ucuenca.edu.ec,

Fecha de recepción: 06 / 12 / 2024

Fecha de aceptación: 13 / 12 / 2024

RESUMEN

Este artículo examina la intersección entre la economía residencial y la implementación de fuentes de energía alternativas, particularmente los sistemas fotovoltaicos, en el contexto del desarrollo sostenible. A medida que Ecuador enfrenta desafíos en el suministro de energía y un aumento en la demanda energética, la adopción de energías renovables se presenta como una solución viable. Este estudio enfatiza la importancia de regulaciones, como la REGULACIÓN Nro. ARCONEL-005/24, que promueven el uso eficiente de recursos renovables. La integración de sistemas fotovoltaicos no solo mejora la independencia energética, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental. Al analizar las implicaciones económicas de la adopción de estas tecnologías, esta investigación busca proporcionar información sobre cómo los sistemas fotovoltaicos pueden transformar el consumo energético residencial, fomentando así una matriz energética más sostenible y resiliente.

Palabras clave: *Energías renovables, Regulación, Sistemas fotovoltaicos, Sostenibilidad, Uso eficiente*

ABSTRACT

This article examines the intersection of residential economics and the implementation of alternative energy sources, particularly photovoltaic systems, in the context of sustainable development. As Ecuador faces challenges in energy supply and increasing energy demands, the adoption of renewable energies presents a viable solution. This study emphasizes the

^{1*} Ingeniero Eléctrico, Doctor en Ingeniería Eléctrica, Universidad de Cuenca, Facultad de Economía y Administración, Departamento de Eléctrica, Electrónica, y Telecomunicaciones (DEET), henrry.moyano@ucuenca.edu.ec <https://orcid.org/0009-0000-2248-1181>

significance of regulations, such as REGULATION Nro. ARCONEL-005/24, which promote the efficient use of renewable resources. The integration of photovoltaic systems not only enhances energy independence but also contributes to environmental sustainability. By analyzing the economic implications of adopting these technologies, this research aims to provide insights into how photovoltaic systems can transform residential energy consumption, ultimately fostering a more sustainable and resilient energy matrix

Keywords: *Efficient use, Regulation, Renewable energies, Sustainability, Photovoltaic systems*

INTRODUCCIÓN

La transición hacia energías renovables es fundamental para mitigar los efectos del cambio climático y promover un desarrollo sostenible. En Ecuador, el uso de sistemas fotovoltaicos ha cobrado importancia en el contexto de la generación distribuida, proporcionando una alternativa viable para satisfacer las necesidades energéticas de los hogares, especialmente en áreas rurales (Almeida, 2006; Cuenca et al., 2023). La implementación de la energía solar fotovoltaica no solo tiene implicaciones ambientales, sino que también presenta oportunidades económicas significativas para los hogares y la economía en general (Bhandari et al., 2017; Huenteler et al., 2016).

El potencial de los sistemas fotovoltaicos en Ecuador se manifiesta a través de su capacidad para reducir la dependencia de fuentes de energía no renovables y fomentar la autosuficiencia energética en comunidades locales. Esta tendencia es respaldada por políticas y regulaciones gubernamentales, como la REGULACIÓN Nro. ARCONEL-005/24, que establece un marco normativo para la promoción y desarrollo de tecnologías limpias en el sector eléctrico (ARCONEL, 2024).

A nivel global, estudios han demostrado que los sistemas fotovoltaicos son cada vez más competitivos en términos de costos, lo que contribuye a su adopción en mercados residenciales (Branker et al., 2011; Zhao et al., 2020). Según el International Energy Agency (International Energy Agency (IEA), 2023), el costo nivelado de electricidad (LCOE) de la energía solar ha disminuido considerablemente, lo que la convierte en una opción atractiva para los consumidores. Además, se ha observado que la adopción de tecnologías solares contribuye a la estabilidad del mercado eléctrico, impulsando beneficios económicos tanto a corto como a largo plazo (Davidson et al., 2018; Yang et al., 2019).

Sin embargo, aún persisten barreras para la adopción masiva de sistemas fotovoltaicos en Ecuador, como la falta de información y la percepción de riesgos asociados con la inversión en energías renovables (Luthra et al., 2015; Parida et al., 2011). Por lo tanto, es esencial llevar a cabo una evaluación integral de la viabilidad económica de estas tecnologías en el contexto residencial ecuatoriano.

Este artículo tiene como objetivo analizar el impacto de la implementación de sistemas fotovoltaicos en la economía residencial de Ecuador, considerando tanto los beneficios como los desafíos que enfrenta el sector. Se explorarán aspectos económicos, técnicos y sociales,

así como las políticas necesarias para fomentar un entorno favorable para la adopción de energías renovables (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2020, 2023). A través de esta investigación, se espera contribuir al entendimiento del papel de la energía solar fotovoltaica en la construcción de un futuro más sostenible y resiliente para Ecuador. La transición hacia fuentes de energía más sostenibles ha ganado terreno en todo el mundo, especialmente en países donde los costos de la energía convencional y las preocupaciones medioambientales son factores clave en la planificación energética. Las energías renovables no convencionales (ERNC), entre las que destacan los sistemas fotovoltaicos, están comenzando a ocupar un lugar central en la economía energética residencial. En Ecuador, esta transición está marcada por una serie de avances tecnológicos y normativos, como la reciente Regulación Nro. ARCONEL-005/24, que promueve la adopción de sistemas fotovoltaicos distribuidos para el sector residencial (ARCONEL, 2024). Esta regulación establece las bases para incentivar la producción de energía limpia y fomentar la reducción de la dependencia de la red eléctrica nacional, impulsando un cambio hacia una mayor autosuficiencia energética (ARCONEL, 2024).

Los sistemas fotovoltaicos han demostrado ser una opción viable y rentable en el ámbito residencial debido a la reducción de los costos de instalación y el mejoramiento de la eficiencia tecnológica (Bhandari et al., 2017; Cuenca et al., 2023). Los estudios recientes indican que la implementación de estas tecnologías en hogares no solo reduce el costo de las planillas eléctricas, sino que también ofrece beneficios medioambientales significativos, contribuyendo a la reducción de las emisiones de carbono (Davidson et al., 2018; Zhao et al., 2020). Además, la capacidad de generación eléctrica a partir de fuentes solares ha experimentado un crecimiento sostenido, con proyecciones de un incremento considerable en la próxima década, según datos de la Agencia Internacional de Energía (International Energy Agency (IEA), 2023)

Uno de los beneficios más inmediatos y tangibles de la implementación de sistemas fotovoltaicos en el sector residencial es la reducción directa en las planillas de energía eléctrica (Haas, 2011). En Ecuador, donde las tarifas eléctricas varían según el consumo y la zona geográfica, los hogares que han instalado sistemas fotovoltaicos han reportado ahorros significativos en sus facturas de electricidad (Perea et al., 2021). Estos ahorros se generan debido a la capacidad de los sistemas solares de cubrir una parte sustancial del consumo energético diario, reduciendo la cantidad de energía que se compra a la red (Almeida, 2006; Branker et al., 2011).

El cálculo del tamaño óptimo de un sistema fotovoltaico para una vivienda ecuatoriana requiere tener en cuenta factores como la irradiación solar disponible, el consumo energético promedio y la eficiencia del sistema. La siguiente ecuación muestra cómo calcular la potencia instalada de un sistema fotovoltaico:

$$P_{inst} = \frac{E_{demandada}}{H_{sol} \cdot PR} \quad (1)$$

donde:

- P_{inst} es la potencia instalada (en kWp),
- $E_{demandada}$ es la demanda energética del hogar (en kWh/año),
- H_{sol} es la irradiación solar promedio anual (en kWh/m²/año) y
- PR es el factor de rendimiento (entre 0.75 y 0.85).

Para el caso de Ecuador, con una irradiación promedio de entre 4 y 5 kWh/m²/día en muchas regiones del país (Cuenca et al., 2023), los sistemas fotovoltaicos tienen el potencial de generar una fracción significativa de la energía requerida por los hogares, impactando positivamente las planillas energéticas (Green, 2000; Mills, 2005).

Retorno de la Inversión (ROI)

Además del impacto en las planillas de energía, la instalación de sistemas fotovoltaicos en el sector residencial ofrece un retorno de la inversión (ROI) atractivo. El ROI de un sistema fotovoltaico se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$ROI = \frac{A_{ahorros\ anuales}}{C_{inversion\ inicial}} \quad (2)$$

donde:

- $A_{ahorros\ anuales}$ representa los ahorros en las facturas de electricidad,
- $C_{inversion\ inicial}$ es el costo del sistema fotovoltaico.

Para los hogares ecuatorianos, el tiempo de recuperación de la inversión depende en gran medida de la irradiación solar, el tamaño del sistema y los incentivos fiscales proporcionados por las regulaciones gubernamentales, como la Regulación Nro. ARCONEL-005/24, que facilita el acceso a incentivos para la implementación de energías renovables a pequeña escala (ARCONEL, 2024). Los estudios muestran que, bajo estas condiciones, el tiempo de retorno puede ser de entre 5 y 8 años, dependiendo de la ubicación y el consumo energético del hogar (Bhandari et al., 2017; Luis Cisterna Arellano et al., 2020).

Ecuador se encuentra en un momento crucial para la integración de energías renovables en su matriz energética. La adopción de sistemas fotovoltaicos en el sector residencial está alineada con los objetivos nacionales de diversificación energética y sostenibilidad (Almeida, 2006). Con el respaldo de políticas como la Regulación Nro. ARCONEL-005/24, que promueve la generación distribuida y el autoconsumo, se espera que el uso de tecnologías solares en los hogares ecuatorianos continúe en aumento, reduciendo la dependencia del sistema eléctrico convencional y mejorando la eficiencia energética en general (Huenteler et al., 2016; Parida et al., 2011).

Además, la integración de sistemas fotovoltaicos no solo tiene un impacto económico positivo en las familias, sino que también contribuye a la estabilidad de la red eléctrica, ya que permite una distribución más equitativa de la demanda y reduce los picos de consumo (Cuenca et al., 2023; International Energy Agency (IEA), 2023). Esto es especialmente relevante en áreas rurales, donde la energía solar fotovoltaica se ha convertido en una alternativa viable para comunidades aisladas. Se proyecta que la capacidad instalada de energía renovable en el país continuará creciendo en los próximos años, impulsada por

políticas públicas y una mayor concienciación sobre la importancia de la sostenibilidad ambiental.

El artículo se organiza de la siguiente manera: en la primera sección se describe la metodología aplicada en el artículo, en la siguiente sección presentan los resultados obtenidos en base al conjunto de datos medidos, luego se presenta la sección de discusión de los resultados para que en la última sección se presenten las conclusiones finales.

METODOLOGÍA

DESCRIPCIÓN DEL CONJUNTO DE DATOS

El sistema fotovoltaico instalado en la vivienda residencial es la fuente principal de generación de energía para este estudio. Este sistema tiene una capacidad instalada de 1200W, y fue configurado para operar de manera interconectada con la red eléctrica, lo que permite la inyección de excedentes de energía cuando la generación supera el consumo residencial. Adicionalmente, el sistema mide tanto la energía generada por el sistema fotovoltaico como el consumo de energía de la vivienda conectada a la red, lo que facilita un análisis detallado del flujo energético en ambas direcciones.

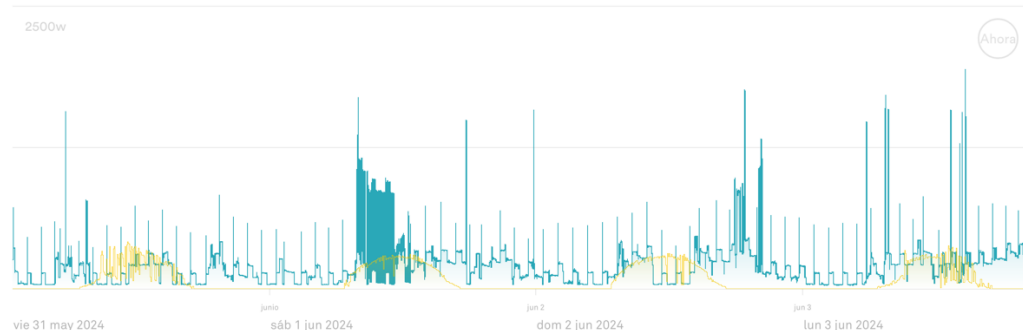


Figura 1 Curva de Demanda vs Curva de Generación

Las mediciones de inyección de energía y consumo fueron tomadas a intervalos de tiempo regulares de manera horaria, se cuenta con un registro aproximado de 30,000 lecturas, a través de un dispositivo electrónico marca SENSE (Sense, n.d.), la base de datos son mediciones realizadas entre el período de diciembre de 2019 hasta la actualidad. Estas mediciones cubren las horas de máxima irradiación solar, cuando la generación de energía es mayor, así como los períodos de menor generación o inactividad del sistema fotovoltaico. Esto permite obtener una visión completa del comportamiento del sistema en condiciones variadas, caracterizando el recurso diario, mensual y anual. En la Figura 2 y Figura 3, se presenta el mapa de energía del sistema de un mismo mes de años diferentes.

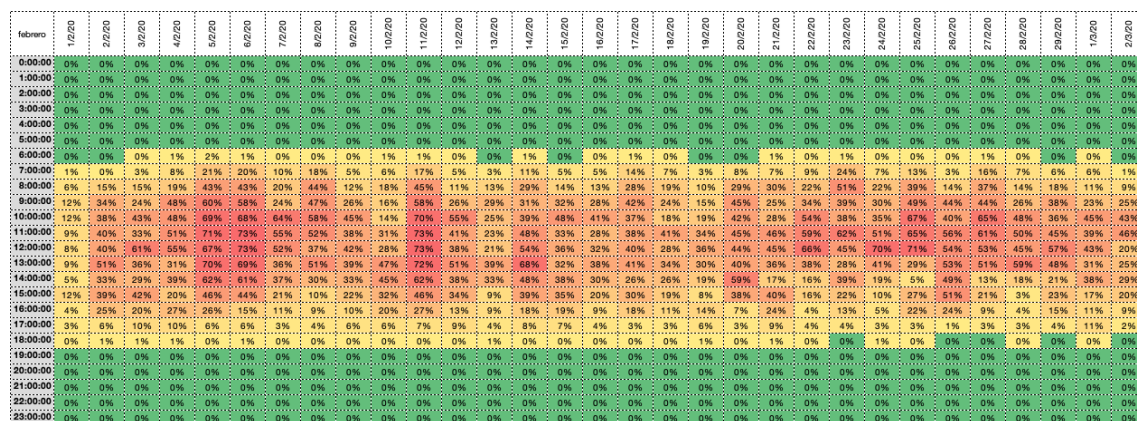


Figura 2 Mapa Solar Mensual Febrero 2022

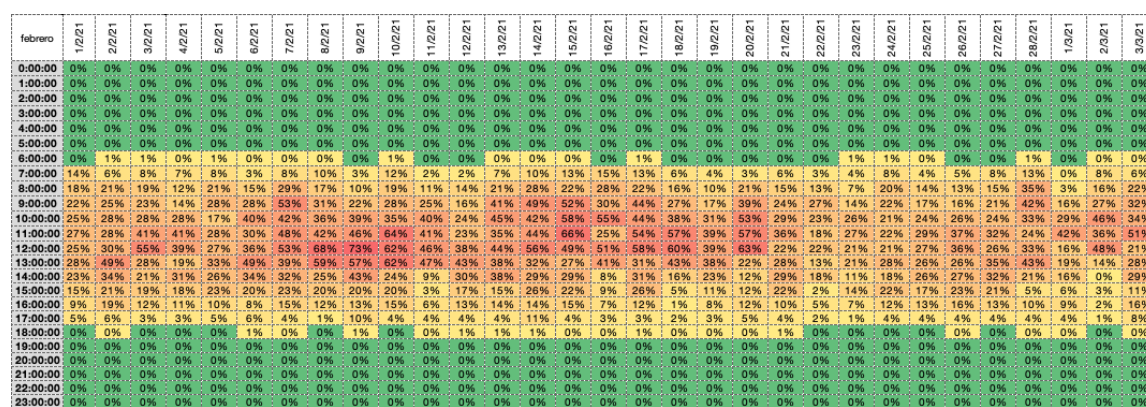


Figura 3 Mapa Solar Mensual febrero 2023

El sistema se encuentra instalado de acuerdo a las coordenadas (Google. (n.d.). Ubicación: $2^{\circ}54'35.2''S$ $78^{\circ}57'24.2''W$. Google Maps, n.d.). Para cada lectura, se ha registrado:

- Fecha y hora de la medición, proporcionando una referencia temporal precisa para el análisis.
- Potencia inyectada a la red en kilovatios hora (kWh), cuando el sistema fotovoltaico genera más energía de la que consume la vivienda.
- Potencia consumida por la residencia, lo que permite analizar el comportamiento de la demanda de energía residencial conectada a la red eléctrica.
- Balance energético, es decir, la diferencia entre la energía generada por el sistema fotovoltaico y el consumo de la vivienda, lo que posibilita evaluar el impacto del sistema sobre la reducción de la dependencia de la red eléctrica, Figura 4.

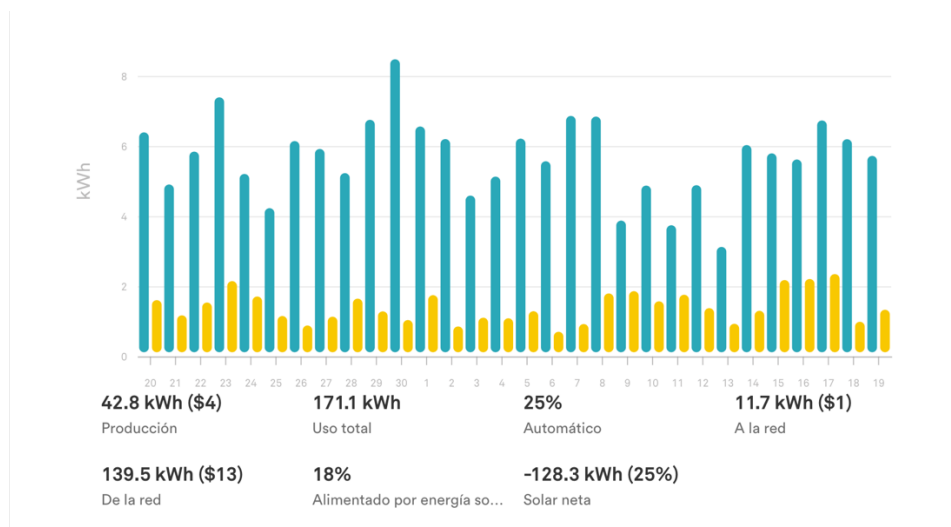


Figura 4 Balance Energético Demanda vs Sistema Fotovoltaico

Este conjunto de datos será fundamental para calcular el balance energético neto entre el sistema fotovoltaico y la red, proporcionando una evaluación clara de cuánta energía ha sido inyectada a la red y cuánta ha sido consumida directamente por la vivienda desde la red eléctrica. Asimismo, los datos permiten estimar el costo asociado a cada lectura de inyección de energía, conforme a las disposiciones de la REGULACION Nro. ARCONEL-005/24, que regula la inyección de excedentes de energía en el segmento residencial.

Los datos fueron procesados mediante software especializado de gestión energética, lo que permitió un control preciso de las variables y la identificación de patrones de inyección y consumo de energía a lo largo del tiempo, Figura 5. A partir de estos patrones, se realizarán análisis de costos y beneficios, evaluando cómo el sistema fotovoltaico contribuye a la reducción de la factura energética de la vivienda, mediante la compensación por la energía inyectada a la red, según lo estipulado en la normativa vigente.

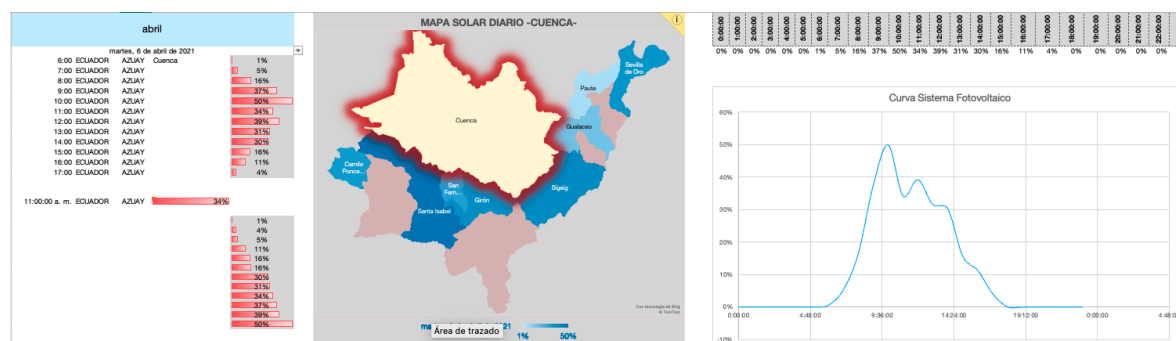


Figura 5 Curva Diara Solar Sistema Fotovoltaico

ANÁLISIS DEL COSTO DE IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN EL SEGMENTO RESIDENCIAL

El costo de implementación de un sistema fotovoltaico en el ámbito residencial involucra diversos componentes que deben ser considerados para evaluar su viabilidad económica y su

impacto en la facturación de energía de los hogares. Este análisis incluye los siguientes aspectos:

- a. Costos Iniciales de Instalación: La inversión inicial comprende la adquisición e instalación de los paneles solares, inversores, estructuras de soporte y sistemas de cableado. Estos costos pueden variar según la capacidad del sistema fotovoltaico, las características específicas de la vivienda y la disponibilidad de incentivos o subsidios gubernamentales. Se estima que esta inversión puede recuperarse a través de ahorros en la factura eléctrica a lo largo del tiempo. Según la IEA (*IEA (2022), Solar PV Global Supply Chains, IEA, Paris, n.d.*) estos valores debido a su economía de escala se reducen de manera considerable, lo cual ha permitido que puedan acceder segmentos sociales analizando los beneficios que esta tecnología presenta. El costo de inversión por Kw oscila entre los 800 a 1000 dolares americanos.

La determinación de los costos de implementación de un sistema fotovoltaico se fundamenta en el dimensionamiento del sistema, en nuestro caso de estudio se considera que la instalación será en una vivienda existente para lo cual se debe considerar el análisis del consumo de la energía durante un periodo de 24 meses, esto permitirá establecer:

- Inversión inicial:
 - Paneles solares: número y capacidad instalada (kWp).
 - Inversores y equipos auxiliares.
 - Estructuras de soporte y sistemas de montaje.
 - Instalación eléctrica y sistemas de seguridad.
 - Costos de instalación: La implementación está sujeta a una regulación requiere previa una aprobación por parte de la empresa distribuidora dentro de la área de concesión y para su ejecución y construcción mano de obra especializada
 - Mano de obra especializada.
 - Trámites y permisos requeridos por las autoridades, en cumplimiento con la ARCONEL-005/24.
 - Costos de operación y mantenimiento: A lo largo de la vida útil del sistema fotovoltaico, que típicamente se estima en 25 años, es necesario considerar los costos de mantenimiento y operación. Esto incluye limpieza periódica de los paneles, revisión del sistema eléctrico y reemplazo de componentes defectuosos, como inversores. Un mantenimiento adecuado puede asegurar un rendimiento óptimo y una mayor duración del sistema.
- b. Impacto en la Facturación de Energía: En el sector residencial, la factura de energía está compuesta por varios elementos, tales como:

- Consumo de Energía: El costo asociado al consumo total de energía, que se reduce al inyectar energía generada por el sistema fotovoltaico a la red.
- Costo de Comercialización: Este es un costo fijo que se suma a la factura y no está directamente relacionado con el consumo de energía.
- Costo de Alumbrado Público: Un costo variable que también se incluye en la factura.
- Aporte de Bomberos y Recolección de Basura: Costos fijos y variables respectivamente que afectan la facturación total.

Al analizar estos componentes, es posible estimar la reducción en la factura de energía gracias a la generación de energía solar, lo que puede resultar en un ahorro significativo a lo largo del tiempo, en el análisis se tiene establecido que entre el 55% al 65% corresponde al consumo de energía eléctrica, la diferencia corresponde a otras tasas que en la facturación se cobran al cliente, Figura 6.

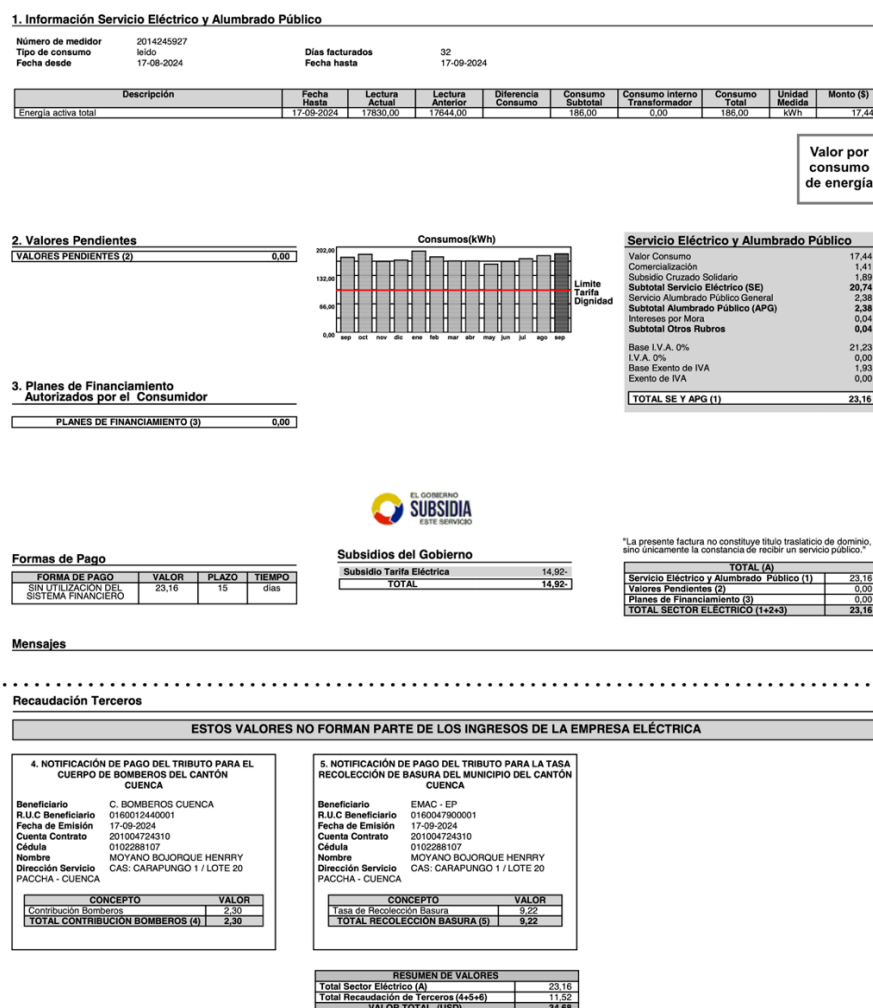


Figura 6 Detalle de Fatura de Consumo de Energía Eléctrica

- c. **Análisis del Balance Energético:** El sistema mide tanto la energía generada por el sistema fotovoltaico como el consumo de la vivienda, lo que permite determinar el balance energético entre el sistema y la red, Figura 7. Este análisis proporciona información valiosa sobre la proporción de energía consumida de la red frente a la inyectada por el sistema fotovoltaico. Un balance energético positivo indica que el sistema fotovoltaico está generando más energía que la que se requiere del sistema electricos para suplir las necesidaes energeticas de la vivienda, llevando de esta manera a un ahorro significativo el cual se reflejara en la facturación

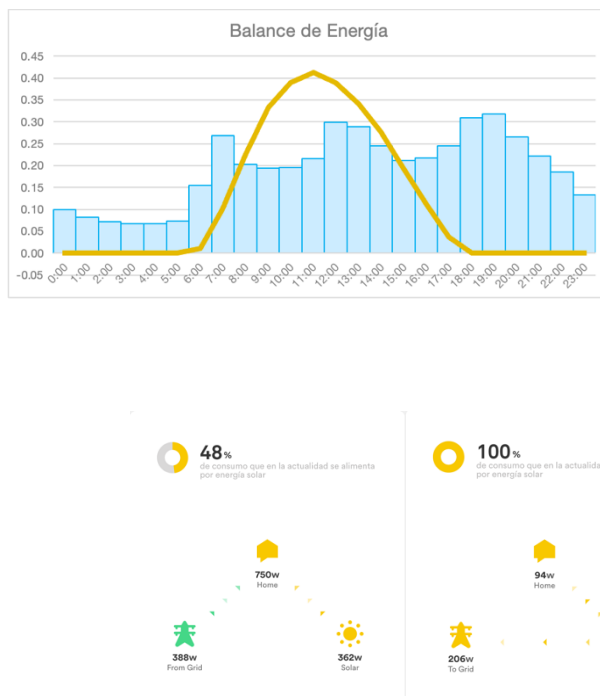


Figura 7 Curva de Operación del Sistema Fotovoltaico

- d. **Consideraciones Normativas:** La Regulación Nro. ARCONEL-005/24 es el instrumento legal desde el punto técnico para la implementación de ERNC bajo el concepto de Sitemas de Generacion Distribuida para Autoconsumo SGDA, en tanto quien debe hacer se de el cumplimiento del mismo es la empresa ditribuidora sobre su area de concesión, pues es quien ademas de ser el ente encargado de la distribucion es quien comercializa el servicio y quien debera realizar el balabnce energetico dentro de la facturacion. La adecuación a esta normativa es esencial para asegurar que el sistema opere de manera eficiente y cumpla con los requisitos legales establecidos.

IMPACTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA FACTURACIÓN DE ENERGÍA

Se determinará la influencia del sistema fotovoltaico en la facturación de energía eléctrica del hogar. Para ello, se analizarán los componentes de una factura residencial típica, que incluye:

- Consumo de energía: Cálculo del ahorro en el consumo de energía facturable debido a la inyección de energía generada por el sistema.
- Costos fijos y variables: Se desglosarán los costos fijos (costo de comercialización y aporte de bomberos) y los costos variables (costo de alumbrado público y recolección de basura), determinando si la implementación del sistema fotovoltaico influye sobre estos componentes.
- Costo de energías del sistema: se debe determinar el costo de energía fotovoltaica por KWH el cual se determina del costo de inversión del proyecto

DETERMINACIÓN DEL FLUJO DE INVERSIÓN Y ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA

Para evaluar la rentabilidad del proyecto, se realizó un análisis financiero que incluye:

- Elaboración del flujo de caja proyectado a lo largo de la vida útil del sistema (25 años), considerando:
 - Ingresos: ahorro en la factura eléctrica y beneficios por inyección de energía a la red.
 - Egresos: inversión inicial y costos de operación y mantenimiento.
- Cálculo de indicadores financieros:
 - Tasa Interna de Retorno (TIR): para medir la rentabilidad del proyecto y compararla con tasas de interés del mercado.
 - Retorno sobre la Inversión (ROI): porcentaje de retorno obtenido sobre la inversión inicial.
 - Período de recuperación de la inversión (Payback): tiempo necesario para recuperar la inversión inicial a través de los ahorros generados.

Este análisis permite determinar la pertinencia económica del proyecto y estimar el tiempo de recuperación de la inversión, apoyando la toma de decisiones para futuros inversores.

CONSIDERACIONES NORMATIVAS Y REGULATORIAS

La REGULACIÓN Nro. ARCONEL-005/24 es fundamental en este estudio, ya que establece:

- Lineamientos para la generación distribuida en el sector residencial.
- Tarifas y mecanismos de compensación por la energía inyectada a la red.
- Requisitos técnicos y administrativos para la conexión de sistemas fotovoltaicos a la red eléctrica.
- Incentivos y beneficios fiscales disponibles para promover la adopción de energías renovables.

El cumplimiento de esta regulación asegura que el sistema opera legalmente y aprovecha al máximo los beneficios económicos y regulatorios disponibles.

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados más relevantes destacando los aspectos más importantes de este artículo.

DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA

Para el caso de estudio se analizó el consumo de energía durante un periodo de 24 meses, Figura 8, a partir de esta información se dimensiona el sistema.



Figura 8 Detalle Mensual de Consumo de Energía

Las consideraciones para tener presentes en el dimensionamiento del sistema son el número de horas presentes en un año 8760 horas, el factor de potencia de la tecnología 0,16 a 0,2, la energía consumida en el periodo de un año, y un factor de crecimiento de demanda del 15 %

$$P_{inst} = \frac{E_{demandada}}{H \cdot fp} \cdot 1.15 = 1.7 Kwp.$$

Sin embargo se debe considerar que en la operación el sistema se tiene factores a considerar pues la disposición física de los paneles esta en función de su ubicación en la vivienda, a esto se le debe sumar la condiciones climáticas más allá que según los estudios establecen que el Ecuador es una zona privilegiada por su posición geográfica frente al sol, las mediciones dan cuenta que se debe aplicar un factor de corrección para la determinación e la energía que se proyecta inyectar en un año, en base a esto tenemos que este $fp_{correccion} = 0.12$, en la Tabla 1 se presenta la información en cuanto a la energía proyectada y la estimada del sistema fotovoltaico

Tabla 1 Energía del Sistema Fotovoltaico

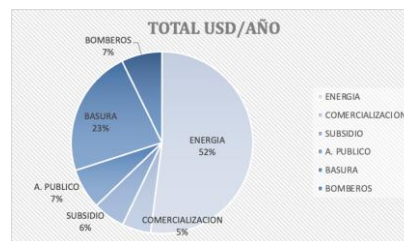
	KWH
ENERGIA PROYECTADA/AÑO-KWH	2102.40
ENERGIA EFECTIVA/AÑO-KWH	1576.80
PERDIDAS	525.60

SISTEMA DE FACTURACION

En la Tabla 2 se presenta el detalle y desglose de la factura de energía eléctrica y el porcentaje que corresponde a cada rubro de la misma.

Tabla 2 Desglose de valores del proceso de Facturación

PERIODO	ENERGIA KWH	COSTO USD/KWH	CONSUMO USD	COMER USD	SUBSIDIO USD	A.P. USD	BASURA USD	BOMBOS USD	SUBSIDIO(-) USD	FACTURA USD				
MES 1	187.9	0.096	\$ 17.63	\$ 1.41	\$ 1.90	6%	\$ 2.41	7%	\$ 7.92	24%	\$ 2.30	7%	\$ 15.07	\$ 33.57
MES 2	167	0.096	\$ 15.60	\$ 1.41	\$ 1.70	6%	\$ 2.16	7%	\$ 7.07	34%	\$ 2.30	8%	\$ 13.44	\$ 30.23
MES 3	175.5	0.096	\$ 16.42	\$ 1.41	\$ 1.78	6%	\$ 2.26	7%	\$ 7.42	34%	\$ 2.30	7%	\$ 14.10	\$ 31.59
MES 4	176.3	0.096	\$ 16.50	\$ 1.41	\$ 1.79	6%	\$ 2.27	7%	\$ 7.45	34%	\$ 2.30	7%	\$ 14.17	\$ 31.72
MES 5	176.1	0.096	\$ 16.48	\$ 1.41	\$ 1.79	6%	\$ 2.27	7%	\$ 7.44	34%	\$ 2.30	7%	\$ 14.15	\$ 31.69
MES 6	179.1	0.096	\$ 16.77	\$ 1.41	\$ 1.81	6%	\$ 2.30	7%	\$ 7.56	34%	\$ 2.30	7%	\$ 14.38	\$ 32.16
MES 7	184.9	0.096	\$ 17.34	\$ 1.41	\$ 1.87	6%	\$ 2.37	7%	\$ 7.80	34%	\$ 2.30	7%	\$ 14.84	\$ 33.09
MES 8	173.9	0.096	\$ 16.27	\$ 1.41	\$ 1.76	6%	\$ 2.24	7%	\$ 7.35	34%	\$ 2.30	7%	\$ 13.98	\$ 31.33
MES 9	183.2	0.096	\$ 17.17	\$ 1.41	\$ 1.85	6%	\$ 2.35	7%	\$ 7.73	34%	\$ 2.30	7%	\$ 14.70	\$ 32.82
MES 10	181.1	0.096	\$ 16.97	\$ 1.41	\$ 1.83	6%	\$ 2.33	7%	\$ 7.64	34%	\$ 2.30	7%	\$ 14.54	\$ 32.48
MES 11	163	0.096	\$ 15.21	\$ 1.41	\$ 1.66	6%	\$ 2.11	7%	\$ 6.91	34%	\$ 2.30	8%	\$ 13.13	\$ 29.60
MES 12	208.2	0.096	\$ 19.61	\$ 1.41	\$ 2.09	6%	\$ 2.66	7%	\$ 8.75	34%	\$ 2.30	6%	\$ 16.65	\$ 36.82
TOTAL	2156.2		\$ 201.97	\$ 16.92	\$ 21.84	11%	\$ 27.72	8%	\$ 91.04	34%	\$ 27.60	8%	\$ 173.1608	\$ 329.28



La tasa de recolección de basura resulta ser el rubro mas representativo dentro de la facturación el cual corresponde al 28% del total, esta tasa corresponde a una *Recaudación Municipal* y se la determina en función de la energía consumida.

ANÁLISIS DEL BALANCE ENERGÉTICO

En la Tabla 3 se presenta el balance energético anual, se verifica la energía entregada por la empresa distribuidora, la energía generada por el sistema fotovoltaico, donde la energia excedente es inyectada a la red.

Tabla 3 Detalle de Balance de Energía Anual

Balance Energético			
AÑO	2021	2022	2023
	KHW	KHW	KHW
Energía Vivienda	2303.7	2155.3	2156.2
Sistema fotovoltaico	1096.4	1178.4	1062.6
Empresa distribuidora	1872.9	1706	1735.1
Inyección a la red (-)	234.8	279.8	220.6
Balnce energético	1638.1	1426.2	1514.5
APORTE SOLAR %	47.59%	54.67%	49.28%

En la Tabla 4 se presenta el balance energético mensual, y que repercute en la elaboración de la factura eléctrica

Tabla 4 Detalle de Balance de Energía Mensual

Balance Energético Mensual												
MES	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
	KHW	KHW	KHW	KHW	KHW	KHW	KHW	KHW	KHW	KHW	KHW	KHW
Energía Vivienda	187.9	167	175.5	176.3	176.1	179.1	184.9	173.9	183.2	181.1	163	208.2
Sistema fotovoltaico	97.8	86.2	98.4	83.2	87.4	79.8	78.8	93.6	83.4	92.4	92.4	89.4
Empresa distribuidora	147.9	132.5	138.8	143	140.9	145.8	151.6	137.2	152	144.1	129.6	172
Inyección a la red (-)	17.8	17.2	25	16.6	16.8	13.2	12	20.2	21	18.4	25.6	16.8
Balnce energético	130.1	115.3	113.8	126.4	124.1	132.6	139.6	117	131	125.7	104	155.2
APORTE SOLAR %	52.05%	51.62%	56.07%	47.19%	49.63%	44.56%	42.62%	53.82%	45.52%	51.02%	56.69%	42.94%

En el balance energético se puede verificar que este representa un ahorro significativo en el consumo de eneregía, y el cual se ve reflejado en la facturacion, ya que como se explico la factura tiene aociado costos variables aue depende del consumo

IMPACTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO EN LA FACTURACIÓN DE ENERGÍA

Aquí puedes describir los efectos que tiene la implementación del sistema fotovoltaico en los diferentes componentes de la factura de energía:

- Reducción en el consumo energético: en la Figura 9 se presenta el ahorro energético para el sistema analizado, y el cual se traslada al proceso de Facturación..

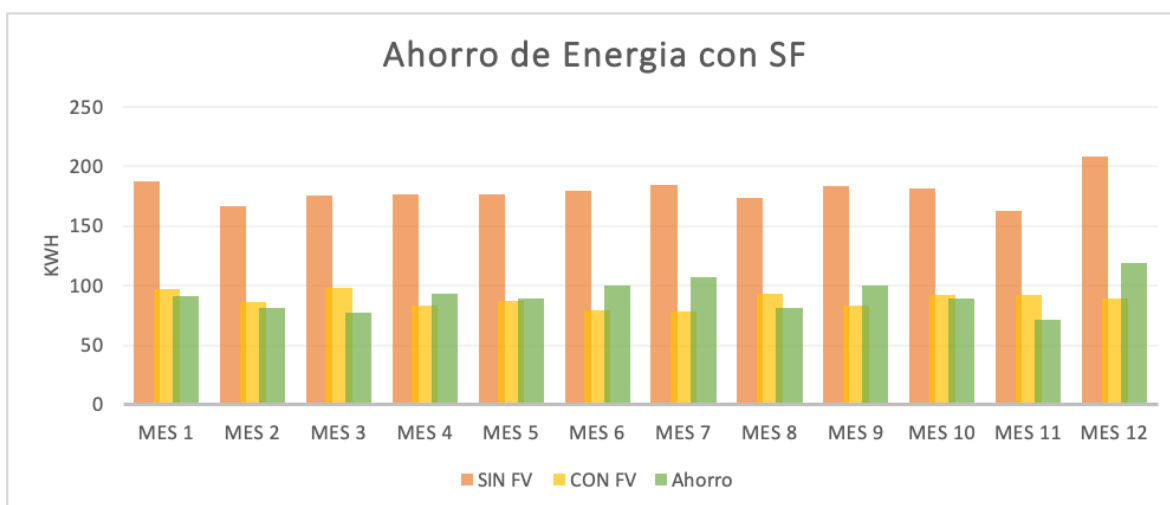


Figura 9 Ahorro de Energía

- Impacto en los costos fijos y variables: en la Figura 10 se muestra el ahorro económico de la factura, considerando que los costos variables dependen del balance energético y que por esta razón se ven afectados.

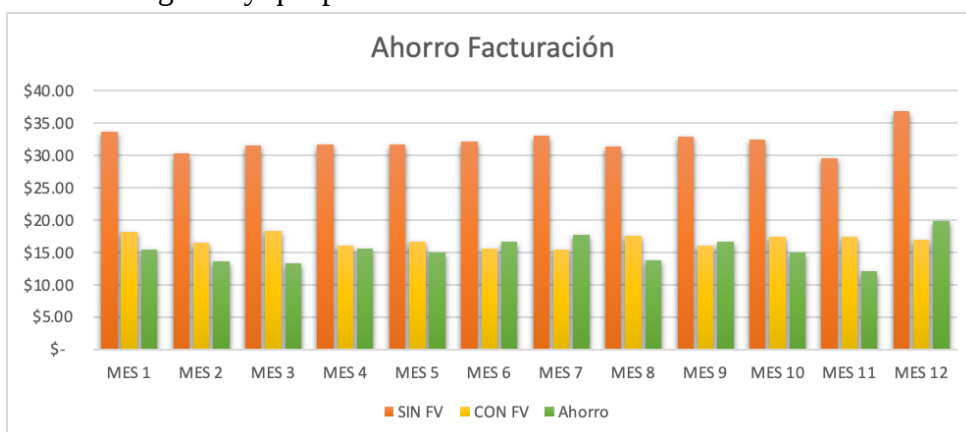


Figura 10 Ahorro Económico en el Proceso de Facturación

Puedes incluir un desglose detallado de los componentes de la factura antes y después de la instalación del sistema fotovoltaico, mostrando claramente las diferencias y los ahorros.

ANÁLISIS DE RENTABILIDAD: TIR Y ROI

En la Tabla 5, se presenta los resultados del análisis de rentabilidad del sistema en base al cálculo del TIR y el ROI,

Tabla 5 Flujo de Inversión del Sistema Fotovoltaico

FLUJO DE CAJA																										
	AÑO 0	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	AÑO 6	AÑO 7	AÑO 8	AÑO 9	AÑO 10	AÑO 11	AÑO 12	AÑO 13	AÑO 14	AÑO 15	AÑO 16	AÑO 17	AÑO 18	AÑO 19	AÑO 20	AÑO 21	AÑO 22	AÑO 23	AÑO 24	AÑO 25
INVERSION	\$ 1,200.00																									
MANTENIMIENTO		\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00	\$10.00
FACTURA ENERGIA SIN SISTEMA		\$ 387.10	\$ 394.84	\$ 402.74	\$ 410.79	\$ 419.01	\$ 427.39	\$ 435.94	\$ 444.65	\$ 453.55	\$ 462.62	\$ 471.87	\$ 481.31	\$ 490.93	\$ 500.75	\$ 510.77	\$ 520.98	\$ 531.40	\$ 542.03	\$ 552.87	\$ 563.93	\$ 575.21	\$ 586.71	\$ 598.45	\$ 610.41	\$ 622.62
FACTURA ENERGIA CON SISTEMA		\$202.24	\$221.73	\$231.36	\$241.13	\$251.04	\$261.10	\$271.31	\$281.68	\$292.20	\$302.88	\$313.73	\$324.75	\$335.94	\$347.31	\$358.86	\$370.60	\$382.52	\$394.64	\$406.95	\$419.47	\$432.19	\$445.13	\$458.28	\$471.65	\$485.24
AHORRO	-\$ 1,200.00	\$174.86	\$173.11	\$171.38	\$169.66	\$167.97	\$166.29	\$164.62	\$162.98	\$161.35	\$159.73	\$158.14	\$156.56	\$154.99	\$153.44	\$151.91	\$150.39	\$148.88	\$147.39	\$145.92	\$144.46	\$143.02	\$141.59	\$140.17	\$138.77	\$137.38
PORCENTAJE		45%	44%	43%	41%	40%	39%	38%	37%	36%	35%	34%	33%	32%	31%	30%	29%	28%	27%	26%	26%	25%	24%	23%	23%	22%
		\$1,025.14	\$ 852.04	\$ 680.66	\$ 511.00	\$ 343.03	\$ 176.74	\$ 12.12	-\$ 150.86	-\$ 312.21	-\$ 471.94	-\$ 630.08	-\$ 786.63	-\$ 941.62	-\$ 1,095.06	-\$ 1,246.97	-\$ 1,397.36	-\$ 1,546.24	-\$ 1,693.63	-\$ 1,839.55	-\$ 1,984.01	-\$ 2,127.03	-\$ 2,268.62	-\$ 2,408.79	-\$ 2,547.55	-\$ 2,684.94
VAN	\$797.40																									
TIR	12%																									
ROI	0.0459																									

Para el cálculo de los indicadores se aplicó una tasa de 6% que corresponde a la inversión a plazo fijo y en base a esto se presentan los resultados:

- Tasa Interna de Retorno (TIR): 12%
- Valor actual Neto (VAN): 797.40 USD
- Retorno sobre la inversión (ROI): 224%

En la Figura se presenta el Flujo en el periodo de 25 años tiempo de la vida útil del proyecto

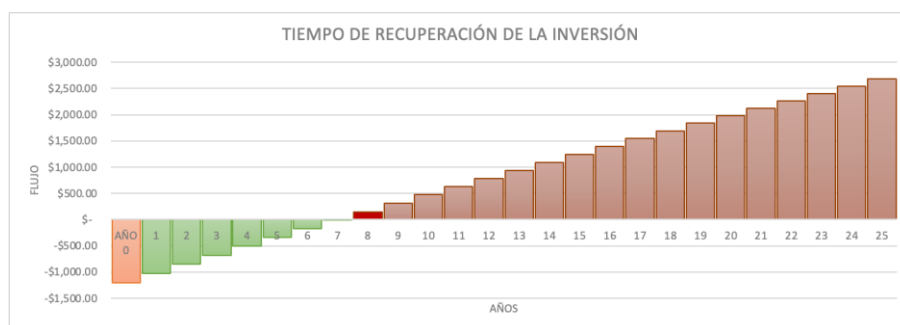


Figura 11 Curva de REcuperacion de la Inversión en Sistemas Fotovoltaicos

En estos resultados de muestra que la recuperación del inversión dentro de la implemtación del sistema es al séptimo año.

DISCUSIÓN

La implementación de sistemas fotovoltaicos en el sector residencial en Ecuador ha demostrado ser una estrategia viable tanto desde el punto de vista económico como ambiental. Los resultados obtenidos en este estudio revelan que la adopción de energía solar puede generar una reducción significativa en las facturas de energía de los hogares. Este impacto es especialmente evidente en las regiones con alta irradiación solar, donde los sistemas fotovoltaicos pueden satisfacer gran parte de la demanda diaria de energía, y en algunos casos, generar excedentes que son inyectados a la red.

El análisis del balance energético muestra que, en condiciones óptimas, los hogares equipados con sistemas fotovoltaicos pueden lograr una autosuficiencia energética parcial.

Este tipo de generación distribuida no solo reduce la dependencia de la red eléctrica convencional, sino que también contribuye a estabilizar la demanda en la red, especialmente durante las horas de mayor generación solar. Además, la inyección de excedentes energéticos a la red permite a los usuarios obtener compensaciones económicas que refuerzan aún más los beneficios financieros de la instalación de estos sistemas.

En términos económicos, la evaluación del retorno de la inversión (ROI) muestra que los sistemas fotovoltaicos pueden generar un retorno favorable en un período relativamente corto. A pesar de los costos iniciales de instalación, que pueden representar una barrera para algunos hogares, el ahorro a largo plazo y la posibilidad de compensar los excedentes inyectados a la red convierten a esta tecnología en una opción atractiva para la economía doméstica. Además, el rápido desarrollo tecnológico ha permitido reducir los costos de instalación, lo que hace que los sistemas fotovoltaicos sean cada vez más accesibles para una mayor parte de la población.

Sin embargo, el análisis también destaca algunos desafíos que aún deben superarse. La falta de información y conocimiento sobre los beneficios a largo plazo de los sistemas fotovoltaicos es una barrera para su adopción masiva. Los consumidores, en muchos casos, perciben el alto costo inicial como un riesgo, sin tener en cuenta los beneficios financieros a largo plazo que esta tecnología puede ofrecer. Es necesario, por lo tanto, que se fortalezcan las campañas de educación y sensibilización dirigidas a los consumidores, con el fin de destacar las ventajas económicas y medioambientales de la energía solar.

Otro desafío relevante es la infraestructura y la normativa vigente. Aunque la regulación actual facilita la implementación de energías renovables, aún se necesita una mejora en los procedimientos administrativos y en la coordinación con las empresas distribuidoras de electricidad para optimizar el proceso de instalación y conexión de sistemas fotovoltaicos. La simplificación de trámites y una mayor integración de estos sistemas en el marco regulatorio son pasos clave para impulsar la adopción masiva de esta tecnología.

En el aspecto técnico, también es necesario abordar los desafíos relacionados con el mantenimiento de los sistemas fotovoltaicos. Aunque la vida útil de estos sistemas es considerablemente larga, el rendimiento óptimo depende de un mantenimiento adecuado y regular. Los propietarios de viviendas deben ser conscientes de la importancia del mantenimiento preventivo para asegurar que los sistemas continúen funcionando de manera eficiente y rentable durante toda su vida útil.

En resumen, los sistemas fotovoltaicos representan una opción viable y beneficiosa para los hogares ecuatorianos, no solo en términos de ahorro en la factura energética, sino también en la contribución a la sostenibilidad ambiental. Sin embargo, para que esta tecnología alcance su máximo potencial, es esencial superar las barreras actuales relacionadas con los costos iniciales, la percepción del riesgo, y la regulación.

CONCLUSIONES

El presente estudio ha demostrado que la implementación de sistemas fotovoltaicos en el sector residencial ecuatoriano tiene un impacto positivo tanto en términos económicos como medioambientales. Los hogares que adoptan esta tecnología pueden reducir significativamente sus costos energéticos, e incluso generar ingresos adicionales a través de la inyección de excedentes de energía a la red eléctrica. Esta capacidad de generación distribuida no solo beneficia a los consumidores, sino que también contribuye a la estabilidad de la red eléctrica nacional, reduciendo la demanda durante las horas pico y promoviendo un uso más eficiente de los recursos energéticos.

Los resultados financieros obtenidos en este análisis destacan que la inversión en sistemas fotovoltaicos es económicamente viable. El cálculo del Valor Actual Neto (VAN) arrojó un valor positivo de 797.40 USD, lo que indica que el proyecto genera valor añadido a lo largo de su vida útil de 25 años. Además, la Tasa Interna de Retorno (TIR) alcanzó un 12%, superando la tasa de descuento utilizada en el análisis, lo que reafirma la rentabilidad del proyecto. En términos de Retorno sobre la Inversión (ROI), el sistema fotovoltaico mostró un rendimiento del 224%, lo que significa que, por cada dólar invertido, los hogares ecuatorianos pueden esperar recibir más del doble en ahorros y compensaciones energéticas a lo largo del tiempo.

Estos indicadores financieros refuerzan la conclusión de que los sistemas fotovoltaicos no solo son una solución viable desde el punto de vista ambiental, sino también desde una perspectiva económica. A pesar de los costos iniciales de instalación, los ahorros en las facturas de energía y las compensaciones por la inyección de energía a la red permiten recuperar la inversión en un período estimado entre cinco y ocho años, dependiendo de la ubicación geográfica y el tamaño del sistema instalado.

No obstante, es crucial que se superen algunos desafíos para fomentar una mayor adopción de esta tecnología. La educación y sensibilización de los consumidores sobre los beneficios a largo plazo de los sistemas fotovoltaicos es esencial para superar la percepción de riesgo asociada a los costos iniciales. Asimismo, es necesario que las instituciones gubernamentales y las empresas distribuidoras trabajen conjuntamente para mejorar los procesos administrativos y regulatorios, facilitando así la instalación y operación de estos sistemas.

En conclusión, la energía fotovoltaica tiene el potencial de transformar el panorama energético residencial en Ecuador. A medida que los costos de instalación continúan disminuyendo y la tecnología sigue avanzando, se espera que un mayor número de hogares adopten esta solución sostenible. La transición hacia una matriz energética más limpia y eficiente no solo permitirá reducir la dependencia de las fuentes de energía convencionales, sino que también contribuirá al bienestar económico de los hogares y a la protección del medio ambiente en el largo plazo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, W. (2006). Generación Distribuida y su Potencial Aplicación en Ecuador. *Revista Técnica "Energía,"* 2(1 SE-Artículos), PP. 83-86. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v2.n1.2006.306>
- ARCONEL. (2024). *Regulación Nro. ARCONEL-005/24.*
- Bhandari, R., Shrestha, S., Bhandari, B., & Bhandari, A. (2017). Economic viability of solar photovoltaic technology in the context of energy supply. *Renewable Energy*, 107, 272–278. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.017>
- Branker, K., Pathak, M. J. M., & Pearce, J. M. (2011). A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4470–4482. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.104>
- Cuenca, A., Oña, C., Suquillo, I., & Miniguano, H. (2023). Metodología de Diseño de Sistemas Aislados de Energía Solar Fotovoltaica para Áreas Rurales en Ecuador. *Revista Técnica "Energía,"* 20(1 SE-TECNOLÓGICOS E INNOVACIÓN), PP. 43-51. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v20.n1.2023.537>
- Davidson, C., Hwang, J., & Kim, S. (2018). Economic impacts of solar photovoltaic systems on residential electricity markets. *Energy Policy*, 115, 314–324. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.01.013>
- Google. (n.d.). Ubicación: 2°54'35.2"S 78°57'24.2"W. *Google Maps.* (n.d.).
- Green, M. A. (2000). Photovoltaics: technology overview. *Energy Policy*, 28(14), 989–998. [https://doi.org/10.1016/S0301-4215\(00\)00084-7](https://doi.org/10.1016/S0301-4215(00)00084-7)
- Haas, R. (2011). Market Integration of Photovoltaics: Energy System Benefits and Challenges. *Energy Policy*, 39(7), 3804–3812.
- Sense. (n.d.). *Sense(n.d) Utilities.*
- Huenteler, J., Schmidt, T. S., & Kanie, N. (2016). The political economy of clean energy transitions: The wind and solar power industries in Brazil, China, and India. *Energy Policy*, 98, 71–81. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.08.002>
- IEA (2022), *Solar PV Global Supply Chains*, IEA, Paris. (n.d.). Licence: CC BY 4.0. <https://www.iea.org/reports/solar-pv-global-supply-chains>

- International Energy Agency (IEA). (2023). *Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028*. <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2020). *The socio-economic benefits of solar and wind energy*. <https://www.irena.org/publications/2020/May/The-socio-economic-benefits-of-solar-and-wind-energy>
- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2023). *Renewable Capacity Statistics 2023*. <https://www.irena.org/Statistics/View-Data-by-Topic/Capacity-and-Generation/Technologies>
- Luis Cisterna Arellano, Luis, A.-R., & MarÃ\\-a Beatriz, P. (2020). Proyectos Fotovoltaicos en GeneraciÃ\\textthreesuperiorn Distribuida Â¿`Rentabilidad Privada o Sustentabilidad Ambiental? *Revista PolitÃ\\copyrightcnica*, 45, 31–40. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-01292020000300031&nrm=iso
- Luthra, S., Mangla, S. K., & Das, A. (2015). Barriers to the adoption of solar energy in developing countries: A case study of India. *Renewable Energy*, 74, 152–159. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.08.022>
- Mills, A. D. (2005). Photovoltaic Power: Challenges in Grid Integration. *Energy Journal*, 26(4), 1–12.
- Parida, B., Iniyan, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1625–1636. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.032>
- Perea, A., Aguirre, A., & Meda, R. (2021). Demand forecasting for photovoltaic systems in residential buildings. *Applied Energy*, 285, 116363. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116363>
- Yang, Y., Zhang, Z., & Liu, C. (2019). Solar photovoltaic systems: Demand and supply analysis in the residential market. *Energy Economics*, 84, 104560. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2019.104560>
- Zhao, J., Yang, Y., & Wang, X. (2020). Economic analysis of solar photovoltaic systems in China. *Energy Reports*, 6, 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.10.004>