

**Factibilidad para la electrificación  
rural con tecnología fotovoltaica**

**Feasibility for rural electrification with  
photovoltaic technology**

Jean Pierre Mera-Bravo<sup>1</sup>  
Universidad Técnica De Manabí - Ecuador  
jmera558@utm.edu.ec

María Rodríguez-Gámez<sup>2</sup>  
Universidad Técnica de Manabí - Ecuador  
maria.rodriguez@utm.edu.ec

**[doi.org/10.33386/593dp.2024.3.2490](https://doi.org/10.33386/593dp.2024.3.2490)**

V9-N3 (may-jun) 2024, pp 1139-1153 | Recibido: 02 de abril del 2024 - Aceptado: 07 de mayo del 2024 (2 ronda rev.)

---

1 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2494-050X>

2 ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3178-0946>

Descargar para Mendeley y Zotero

## RESUMEN

La investigación pretende profundizar en el examen de las cuestiones vinculadas con la electrificación rural, mediante el aprovechamiento del potencial solar con la utilización de tecnología fotovoltaica, que permita el análisis de la política y proyectos aplicados en la provincia de Manabí, para garantizar el suministro de energía en las zonas rurales y profundizar en los aspectos vinculados con la viabilidad energética, económica, ambiental y social, relacionada con el aprovechamiento del potencial solar en el territorio. Se parte del método deductivo que posibilita el análisis del problema, el examen de las teorías generales relacionadas con la electrificación rural mediante el uso de los sistemas fotovoltaicos autónomos, la discusión de los resultados y llegar a conclusiones precisas sobre el tema estudiado. Se aplican las técnicas de observación, el análisis documental, el diseño técnico, el análisis geográfico y el análisis estadístico. En los resultados se exponen los criterios generales que demuestran la viabilidad del empleo de la tecnología fotovoltaica para garantizar la electrificación rural. Se concluye que los métodos técnicos tradicionales aplicados para asegurar el suministro de energía en las zonas rurales de la provincia son muy costosos, ineficientes energéticamente, no amigables con el ambiente y disocian a la sociedad de la gestión y la eficiencia energética. Se demuestra la viabilidad del uso de los sistemas fotovoltaicos autónomos para garantizar el suministro de energía limpia, confiable y de calidad en las zonas rurales de la provincia de Manabí.

**Palabras claves:** electrificación rural; energía limpia; potencial solar; sistemas fotovoltaicos autónomos

## ABSTRACT

The research aims to deepen the examination of the issues linked to rural electrification, by taking advantage of the solar potential with the use of photovoltaic technology, which allows the analysis of the policy and projects applied in the province of Manabí, to guarantee the supply of energy in rural areas and delve into the aspects linked to energy, economic, environmental and social viability, related to the use of solar potential in the territory. The starting point is the deductive method that enables the analysis of the problem, the examination of general theories related to rural electrification through the use of autonomous photovoltaic systems, the discussion of the results and reaching precise conclusions on the topic studied. Observation techniques, documentary analysis, technical design, geographical analysis and statistical analysis are applied. The results show the general criteria that demonstrate the viability of using photovoltaic technology to guarantee rural electrification. It is concluded that the traditional technical methods applied to ensure the supply of energy in rural areas of the province are very expensive, energy inefficient, not friendly to the environment and dissociate society from energy management and efficiency. The viability of the use of autonomous photovoltaic systems is demonstrated to guarantee the supply of clean, reliable and quality energy in rural areas of the province of Manabí.

**Keywords:** rural electrification; clean energy; solar potential; autonomous photovoltaic systems.

## Introducción

La energía constituye un elemento clave para el progreso humano. La electricidad es un recurso necesario para la satisfacción de las necesidades del hombre moderno, que interviene en la satisfacción de las necesidades vitales de la sociedad (Rodríguez, et al., 2016).

En la actualidad los problemas vinculados con el servicio eléctrico constituyen una cuestión prioritaria en el debate científico, político, económico y social, dadas sus repercusiones para el conjunto de la sociedad. El aprovechamiento de las fuentes renovables de energía es propiciador del desarrollo sostenible en el ámbito energético, lo que favorece la diversificación sostenible de la matriz energética y una mayor relocalización de las fuentes, que permite la elevación de la calidad y el desarrollo socio económico del territorio (Vázquez-Pérez, 2022).

El agotamiento de los recursos de origen fósil es un tema previsible en los momentos actuales, así como los efectos derivados de su uso intensivo para el medio ambiente, como precursor de los desequilibrios que genera el cambio climático (Vélez, 2018).

El sistema energético mundial está sustentado en el uso irracional de las fuentes fósiles y nucleares, que no garantiza la sostenibilidad del sistema y debe ser sustituido por una cultura ambiental respetuosa, encaminada a lograr el desarrollo sostenible entendido como un proceso que asegura el mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, basado en la eficiencia y el logro de resultados económicos favorables para la sociedad (Vélez, 2018).

Las experiencias derivadas del modelo energético sustentado en el consumo de los combustibles fósiles es un error estratégico, que prioriza los intereses comerciales por encima del interés público y ambiental (Roca, 2020). Se debe propiciar una gestión energética encaminada a propiciar la creación de condiciones de regulación para el excesivo gasto energético y acoger modelos inclusivos que garanticen el

aprovechamiento de las fuentes renovables en el marco del desarrollo local sostenible (Gómez y Jorge, 2019).

En el año 2008 la Agencia Internacional de Energía señaló, que los países que se encuentran en vías de desarrollo enfrentan el desafío relacionado con el incremento del consumo de energía, en interés de sostener el desarrollo económico y social (Agencia Internacional de Energía [EIA], 2020). En algunos casos optan por mantener la dependencia energética mediante la importación de recursos no renovables, lo que compromete la soberanía energética. En este escenario se da el caso de quienes poseen disponibilidad de recursos energéticos endógenos y no lo aprovechan, para utilizar fuentes no renovables en interés de cubrir la demanda energética (Marroquín y Ríos, 2017). Otros países adoptan un modelo de gestión integrado a partir del aprovechamiento de sus recursos endógenos, mediante la integración de la generación tradicional con el aporte de las fuentes renovables (Muñoz-Vizñay et al., 2018; Schweickardt et al., 2020).

En el año 2021 la Agencia Internacional de Energía manifestó que, la configuración del modelo energético mundial es contaminante e ineficiente, socialmente injusto y con una demanda creciente, lo que implicó que en el propio año se produjera un incremento en el uso de los combustibles fósiles, que generaron un incremento de las emisiones históricas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (EIA, 2021). Se requiere operar un cambio que permita alcanzar los objetivos de un desarrollo económico y social que sea sostenible, a partir del uso de recursos energéticos limpios.

Las fuentes renovables tienen su origen a partir de la energía solar, no se agotan ni contaminan el ambiente. Se pueden aprovechar en sistemas térmicos y los sistemas fotovoltaicos para la generación de electricidad (Álvarez y Moreno, 2017). Los impactos ambientales asociados con el suministro de energía eléctrica mediante la utilización de los combustibles no renovables y sus altos precios, han propiciado el auge en el uso de las fuentes renovables (EIA, 2017).

En los lineamientos del programa energético del Ecuador, se proyecta el cambio de la matriz energética como un instrumento de política sostenible, que requiere el planeamiento dirigido a transformar la composición de la base de generación de electricidad, mediante la incorporación de los recursos renovables como garantía de una matriz energética sostenible (Parrondo et al., 2013).

Las personas que residen en zonas rurales y que no cuentan con el servicio eléctrico, enfrenan condiciones de vida difíciles, con limitaciones para la realización de tareas sociales como el estudio, el esparcimiento y la información.

El acceso al servicio de energía eléctrica de calidad proporciona potencialidades que permiten el mejoramiento de la calidad de vida y la incorporación de las personas a una vida social saludable e integrada. La posibilidad de contar con el servicio eléctrico propicia la reducción de la marginalidad, el incremento de la seguridad ciudadana, el mejoramiento a los servicios de salud pública y la educación, la posibilidad de encontrarse mejor informados, lo que representa en la práctica un salto considerable en las condiciones y calidad de vida para las personas que residen en la ruralidad (Banda, 2017).

Las consecuencias de la crisis energética y ambiental recomiendan la adopción de un modelo de gestión de la energía, que propicie el análisis de la demanda y la aplicación de proyectos que posibiliten la preservación de recursos naturales agotables, lo que supone el incremento y aprovechamiento de las fuentes renovables en el marco del desarrollo local (Salazar et al., 2018).

En el periodo comprendido entre el año 2009 al 2016 se incrementó la cobertura del sector eléctrico en el territorio rural de la provincia de Manabí, mediante la extensión de las redes eléctricas a partir del financiamiento aprobado por el gobierno mediante el Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM) de Ecuador (Consejo Nacional de Electricidad [Conelec], 2015), pero los

recursos designados para el aprovechamiento del potencial solar que posee el territorio resultó insignificante.

En el modelo tradicional de suministro de electricidad en zonas rurales asumido por el Ecuador, la sociedad no deja de ser un consumidor pasivo desvinculado de su gestión (Rodríguez et al., 2016). El aprovechamiento de la energía solar para suministrar energía eléctrica propicia la socialización de la gestión energética (Dafermos et al., 2015). En los sistemas autónomos para la electrificación rural los usuarios se convierten en gestores de la energía que consumen.

Se requiere operar la evolución del desarrollo energético en el sector rural, con el mismo dinamismo de la evolución del desarrollo científico-técnico, que se centra en soluciones respetuosas del ambiente (Sánchez et al., 2009). Lo que implica que sea necesario para la provincia de Manabí, el diseño de modelos específicos que apuesten por el impulso en el aprovechamiento de los recursos energéticos endógenos, a partir del uso de las fuentes renovables de energía integradas al esquema de desarrollo local sostenible (Vázquez-Pérez et al., 2019).

A partir de la situación analizada, el problema de investigación consiste en: ¿cómo lograr un modelo de electrificación rural que sea factible desde el punto de vista energético, ambiental y social en las zonas rurales de la provincia de Manabí? Desde el análisis del problema el objetivo del trabajo consiste en: analizar la factibilidad energética, ambiental y social relacionada con el aprovechamiento de la energía solar, para garantizar la electrificación rural en la provincia de Manabí.

### **La electrificación rural y los sistemas fotovoltaicos autónomos**

El desarrollo social está vinculado con el aumento progresivo de la demanda de energía, lo que demuestra la relación política y social que existe entre energía, desarrollo y sociedad. La reducción de los impactos ambientales vinculados con el suministro energético en las

zonas rurales, constituye un reto que se debe encarar a la par del desarrollo económico y social (Barroso y Flores, 2010).

La generación de energía eléctrica por los métodos tradicionales es responsable del 25% de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Villavicencio, 2021). La introducción de los sistemas fotovoltaicos puede reducir la cantidad de gases contaminantes que se emiten al ambiente.

La radiación solar es la energía electromagnética que se genera en el proceso de fusión del hidrógeno que contiene en el Sol. La energía que llega a la Tierra a través de la atmósfera en un año equivale a un tercio de la interceptada fuera de la atmósfera. El 70% llega al mar y la restante a la parte terrestre sólida del planeta. La radiación solar fuera de la atmósfera se conoce como constante solar y es igual a 1.353 W/m<sup>2</sup>. El valor máximo medido sobre la superficie terrestre es de 1.000 W/m<sup>2</sup> (RES & RUE Dissemination, 2004).

La radiación solar que llega al plano horizontal terrestre puede ser directa o difusa. La directa incide sobre el plano horizontal terrestre con un ángulo único y preciso, la difusa incide sobre el plano horizontal terrestre con varios ángulos, en lo que pueden influir las condiciones meteorológicas, la inclinación de la superficie respecto al plano horizontal y la presencia de superficies reflectantes (Sánchez, 2010). La intensidad de la radiación solar puede variar en dependencia de la latitud del lugar, el momento del día, las condiciones atmosféricas y climatológicas. La unidad utilizada para la radiación solar es el W/m<sup>2</sup>, que expone la cantidad de energía que llega a un área de un metro cuadrado (Sánchez et al., 2017).

La energía solar fotovoltaica se deriva de modo directo de la radiación solar. En los sistemas autónomos la luz solar se convierte en electricidad de corriente continua mediante el efecto fotoeléctrico. La fuente energética está garantizada de manera gratuita durante todo el año ininterrumpidamente (Díaz, 2020).

Las celdas solares constituyen el elemento técnico básico de un sistema fotovoltaico, con un costo actual competitivo con otras tecnologías de generación de electricidad (Sánchez y Hall, 2019), especialmente en las zonas aisladas del Sistema Nacional Interconectado. Se fabrican con materiales semiconductores dopados. Los módulos fotovoltaicos comercializables pueden alcanzar potencias superiores a los 300Wp, con tensiones nominales de 12V y 24V respectivamente y se pueden utilizar para cargar baterías con el empleo de un regulador de carga (Díaz, 2020). Al utilizarlos en el modo de la generación distribuida para el autoconsumo, se logra reducir la generación de electricidad con recursos naturales no renovables que son más costosos y contaminantes (García y Tandazo, 2013; Ugarte, 2014).

El material que se utiliza para la construcción de las células fotovoltaicas se consigue mediante la realización del dopado, que se logra agregando determinada impureza para mejorar la conductividad de un material puro, en el que se combinan capas de tipo n y tipo p de un semiconductor. Para la construcción de las celdas el semiconductor más usado es el silicio (Gallegos, 2017), que puede ser monocristalino con una eficiencia entre el 15% y el 17%, policristalino con eficiencia entre el 12% y el 14%, silicio amorfo con una eficiencia menor al 10% y existen otros materiales menos utilizados para la fabricación comercial de los módulos como son: arseniuro de galio, diseleniuro de indio y cobre, así como telurio de cadmio (RES & RUE Dissemination, 2004).

Se denomina módulo fotovoltaico al conjunto de células que forman el generador de electricidad y constituyen el generador de energía. Como parte de los sistemas autónomos las baterías se usan para almacenar la energía y lograr su utilización durante la ausencia de radiación solar, el regulador de la carga de la batería, el inversor que convierte la corriente directa generada por los módulos en corriente alterna y el consumo de energía eléctrica, mediante equipos electrodomésticos instalados en la vivienda rural (Ortega y Boada, 2013).

Las características eléctricas de un módulo fotovoltaico son: la potencia pico que corresponde a la suministrada por el módulo en condiciones normalizadas de prueba, a partir de una radiación solar = 1.000 W/m<sup>2</sup>, temperatura = 25 °C, la corriente nominal que corresponde a la corriente máxima suministrada por el módulo y el voltaje nominal, que es el voltaje máximo suministrado por el módulo (Muñoz, 2009).

Un sistema fotovoltaico se estructura a partir de un conjunto de módulos instalados en serie o paralelo para conseguir una determinada potencia energética, otros componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos, que permiten captar y transformar la energía solar en energía eléctrica utilizable (Muñoz, 2009). Poseen una composición técnica sencilla, que puede ser aplicada para la electrificación rural. En la figura 1 se muestra la estructura técnica de una central fotovoltaica autónoma para la electrificación rural.

**Figura 1**  
*Estructura técnica de una central fotovoltaica autónoma*



La aplicación de la tecnología fotovoltaica de los sistemas autónomos para la electrificación rural supone un proceso de dimensionado técnico, que toma en consideración los aspectos siguientes: carga eléctrica (demanda energética), características eléctricas específicas de la carga, potencia pico del sistema, latitud del lugar, radiación solar media anual y las características específicas del sitio de la instalación (RES & RUE Dissemination, 2004).

La energía fotovoltaica de sistemas autónomos es la más utilizada para la electrificación rural a escala mundial. Es un recurso disponible en la mayoría de lugares, es segura, tiene un amplio ciclo de vida tecnológico y es económica en comparación con otras fuentes (Díaz, 2020).

## Materiales y métodos

La investigación científica supone el acceso y conocimiento de los conceptos, principios y leyes encaminadas a la dirección adecuada del proceso investigativo para asegurar el cumplimiento de los objetivos y la verificación de la hipótesis (Guamán et al., 2021).

Para garantizar el proceso de investigación se aplicó una metodología compleja que parte del método deductivo. Se realizó el análisis del problema y el examen de las teorías generales vinculadas con los sistemas fotovoltaicos autónomos y su aplicación en el contexto de las zonas rurales que no cuentan con el servicio eléctrico, así como sus repercusiones para el desempeño de la sociedad. Lo que permitió el diseño de la hipótesis, el objetivo de la investigación, el análisis y discusión de los resultados y llegar a conclusiones precisas sobre el tema que se estudia (Palmero, 2021).

El enfoque del artículo es cualitativo y se centra en el estudio relacionado con el acceso al servicio eléctrico por parte de la ciudadanía en las zonas rurales, la posible aplicación de los sistemas fotovoltaicos autónomos, sus ventajas y la viabilidad energética, económica, ambiental y social derivada del aprovechamiento de la energía solar para garantizar el servicio eléctrico en zonas rurales donde no llega el servicio energético de la red convencional.

El diseño de la investigación es descriptivo correlacional, que parte de la descripción y relación de datos existentes entre las variables relacionadas con el uso de la energía solar fotovoltaica con sistemas autónomos en las zonas rurales.

El estudio es de tipo transversal, que parte del análisis de la información obtenida en el momento de la realización de la investigación (Valladolid y Chávez, 2020).

El trabajo de campo se realizó en una comunidad rural del cantón Portoviejo. Se pretende aportar los fundamentos que permitan involucrar a la ciudadanía rural en el diseño,

gestión e implementación de proyectos de innovación y desarrollo de las fuentes renovables de energía, de modo que el suministro energético no constituya una limitante para el desarrollo social de la comunidad.

El universo de la población está integrado por 10 viviendas rurales que no poseen el servicio de energía eléctrica donde residen 55 habitantes. Para la selección de la muestra se aplicó el método probabilístico por conveniencia (Hernández, 2021).

Se aplicó la observación directa e indirecta para realizar una apreciación sobre el problema relacionado con la falta del servicio eléctrico, la estimación de la demanda energética necesaria, la posible estructuración y ubicación de la tecnología fotovoltaica necesaria para el suministro de energía, el comportamiento del sombreado parcial y el nivel de asimilación de la tecnología por parte de la sociedad rural, lo que permitió la obtención de información relevante que resultó útil para la investigación.

La técnica del análisis documental posibilitó el examen de artículos científicos, libros y otros documentos publicados, así como la información institucional publicada que se relaciona con la electrificación rural y los sistemas fotovoltaicos autónomos para garantizar el suministro de energía en el territorio rural.

El diseño técnico para realizar los ensayos del dimensionado tecnológico que se requiere para suministrar energía a una vivienda rural, así como la determinación de los impactos energéticos, económicos, ambientales y sociales derivados del proyecto.

La técnica de análisis geográfico para determinar el potencial solar que incide en el territorio estudiado. Para el procesamiento de la información se aplicó el análisis estadístico de contenido que, según (Abad-Cisneros, 2020) permite abordar una gran cantidad de datos no estructurados, con el fin de formular inferencias profundas, relevantes y válidas, considerando para ello, la matriz de análisis como instrumento de investigación y la sistematicidad, objetividad

y rigurosidad del método científico en el tratamiento de los datos.

Según el autor Abad-Cisneros, (2020) el análisis estadístico constituye una herramienta útil para el examen de los datos de la investigación, que comprende la concepción de la idea de lo que se va a investigar, el análisis del problema, el diseño de la hipótesis y el objetivo general, la recolección de los datos, organización, revisión, clasificación, tabulación y producción de los resultados que permiten el análisis y posibles propuestas integrales que representan un aporte a la solución de los problemas. Los datos se muestran en tablas y gráficos fáciles de explicar, que ayudan a formular y comparar el grado de cumplimiento de los objetivos de la investigación (Pirela y Pérez, 2019).

Como instrumentos de investigación se utilizó el sistema de información geográfico. Para el diseño técnico se utilizó el software PVsyst (Baqir y Channi, 2022). Para la revisión bibliográfica se utilizó la herramienta UKEssays (Essays, 2018).

Todo lo que permitió la obtención y contrastación de información que posibilitó adquirir una visión objetiva relacionada con la electrificación rural y sus repercusiones, la validación de la hipótesis y la generación de nuevos conocimientos asociados con el suministro de energía eléctrica mediante el aprovechamiento de la energía solar (Feria et al., 2020).

Para la realización de la investigación se contó con el consentimiento informado de las partes involucradas, bajo el compromiso de la protección del anonimato de las personas seleccionadas como parte de la investigación.

## Resultados

El territorio de la provincia Manabí se localiza entre los 1°03'08" de latitud sur y los 80°27'02" de longitud oeste, muy cerca a la latitud 0°. Es uno de los territorios donde los rayos del Sol llegan al plano terrestre con mayor perpendicularidad. La latitud determina

la inclinación de los rayos solares en relación con el plano horizontal terrestre, aspecto que favorece la captación de la energía solar (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica [IMNCR], 2018).

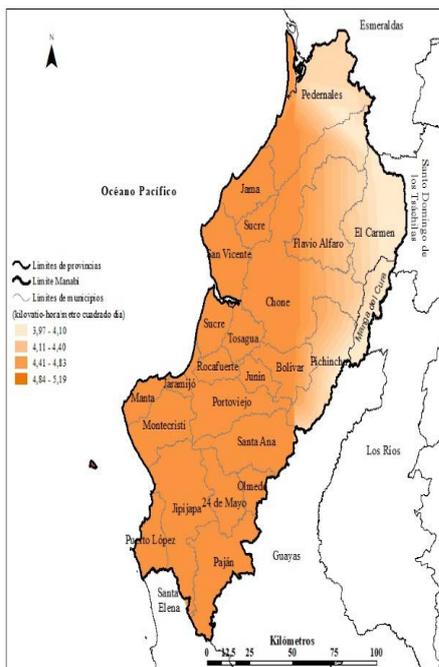
En el año 2008 el Consejo Nacional de Electricidad (Conelec) realizó el estudio del potencial solar del país, lo que permitió conocer la reserva potencial de energía solar que posee el territorio en Manabí y se logró la determinación de la productividad específica (kWh/kWp año) que se puede alcanzar mediante la introducción de la tecnología fotovoltaica. En la tabla 1 se exponen los valores energéticos del potencial solar promedio anual de la provincia por meses del año.

Ver Tabla 1.

En la figura 2 se muestra el mapa del potencial solar promedio anual de la provincia de Manabí, con valores aprovechables para la generación de energía eléctrica con la instalación de sistemas fotovoltaicos autónomos para la electrificación rural.

**Figura 2**

*Mapa del potencial solar promedio anual de la provincia de Manabí*



Entre los años 2009 al 2016 se realizaron importantes inversiones para la repotenciación

del sistema de generación en la provincia de Manabí. Se ejecutaron inversiones con un costo aproximado de 372,76 millones de dólares dedicados a la incorporación de nuevas capacidades de generación en las centrales eléctricas que funcionan mediante el consumo de combustible fósil (Corporación Eléctrica del Ecuador [Celec EP], 2018; Agencia de Regulación y Control de Electricidad [Arconel], 2018).

En el año 1999 el 70 % de la población urbana y el 30 % de la rural de la Provincia tenían acceso al servicio de electricidad y en el año 2019 se había incrementado hasta el 99 % en las zonas urbanas y el 91% en el área rural (Arconel, 2019).

El costo de la extensión de la red por kilómetro de línea eléctrica instalada en zonas rurales tiene una tendencia al incremento sostenido, mientras que el precio comercial por unidad de potencia de los módulos fotovoltaicos experimenta una tendencia a la reducción. Ello permite advertir la necesidad de considerar la factibilidad económica de la energía fotovoltaica de los sistemas autónomos, para realizar la electrificación de las 10.907 viviendas rurales que no reciben el servicio eléctrico (Arconel, 2019).

En Manabí la gestión de la energía eléctrica se basa mayoritariamente en el consumo intensivo de combustible fósil y responde al modo de la generación centralizada para asegurar el servicio eléctrico hasta los usuarios. El sistema responde al criterio de generar electricidad en grandes centrales que generan, transportan, distribuyen y suministran la energía a los usuarios finales (Arconel, 2018).

Una vez concluida la repotenciación del sistema eléctrico en Manabí en el año 2016, se fortaleció el predominio del petróleo para generar electricidad. Todas las centrales eléctricas de la Provincia se conectan al Sistema Nacional Interconectado y funcionan mediante el consumo de recursos no renovables (Arconel, 2016).

**Tabla 1**  
*Valores del potencial solar promedio anual de la provincia de Manabí.*

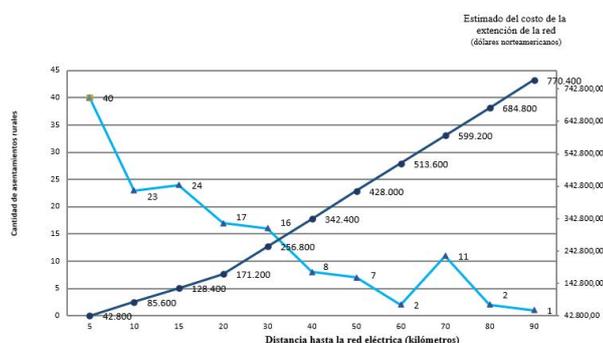
Concepto	Prom. anual	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Potencial solar promedio anual (kWh/m <sup>2</sup> /día)	4,601	4,982	4,977	5,526	5,409	4,867	3,930	3,753	4,056	4,312	4,269	4,367	4,758
Productividad específica (kWh/kWp año)	1.495	138	124	153	145	134	105	104	112	115	118	117	131

*Nota.* Elaborado a partir de (Conelec, 2008).

El trabajo de campo desarrollado permitió la determinación de la conveniencia asociada con la introducción de la tecnología fotovoltaica para la electrificación rural. Para el estudio se consideraron los costos de la infraestructura eléctrica en cada kilómetro de línea que se da en la provincia de Manabí, en base a la información ofrecida por el Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM) de Ecuador (Conelec, 2015), además de la información del precio de mercado actualizado de la tecnología fotovoltaica.

En la figura 3 se muestra un gráfico a tres escalas que muestra en el eje horizontal la distribución de los asentamientos rurales del territorio, de acuerdo a la distancia en kilómetros de la red eléctrica, en la escala vertical de la derecha se expone el costo estimado por la variante de extensión de la red convencional y en la izquierda se refleja de acuerdo a la cantidad de asentamientos poblacionales rurales.

**Figura 3**  
*Costos económicos de la electrificación rural a partir de la distancia de la red eléctrica*

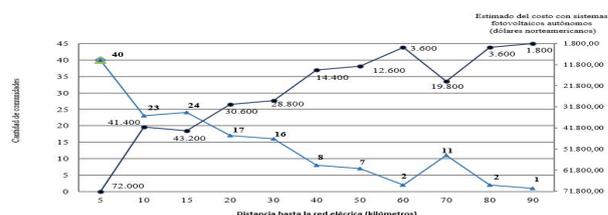


Para el análisis del costo de la extensión de la red eléctrica convencional, se consideró

la instalación y montaje de las líneas eléctricas. No se consideraron los gastos vinculados con el mantenimiento y reparación de las líneas eléctricas, pues en el territorio rural de la provincia resulta muy difícil estimar dichos costos, dado su probable variabilidad, en dependencia de las condiciones geográficas del terreno y la influencia de las variables climáticas en la zona.

En la figura 4 se muestra un gráfico a tres escalas que muestra en la horizontal la distribución de las comunidades del territorio, de acuerdo a la distancia en kilómetros de la red eléctrica, en la escala vertical de la derecha se refleja el costo relacionado con la aplicación de los sistemas fotovoltaicos autónomos y en la escala vertical de la izquierda se expone de acuerdo a la cantidad de asentamientos rurales.

**Figura 4**  
*Costos económicos de la electrificación rural con sistemas fotovoltaicos*



Para el análisis económico relacionado con la aplicación de los sistemas fotovoltaicos autónomos, se consideró el costo de la tecnología, así como su instalación y montaje. En estas tecnologías el costo del mantenimiento es muy bajo y lo puede garantizar el mismo usuario con una capacitación previa. Se reduce al cuidado y protección de la instalación y la limpieza periódica de la superficie de los módulos.

## Discusión

La provincia de Manabí cuenta con una reserva potencial importante de energía solar que no se está aprovechando de modo adecuado. El potencial solar en el territorio ofrece valores que oscilan entre los 5,409 kWh/m<sup>2</sup> día en el mes de abril a 3,753 kWh/m<sup>2</sup> día en el mes de julio, con un promedio anual de 4,601 kWh/m<sup>2</sup> día, en concordancia con los resultados del estudio del potencial solar realizado por (Conelec, 2008).

La interpretación energética del potencial solar que incide en la provincia de Manabí permitió conocer que su aprovechamiento adecuado para la electrificación rural es capaz de generar 1.495 kWh/kWp instalado al año, lo que representa un ahorro de 0,375 t de petróleo y dejar de emitir 1,35 t de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, en consonancia con los resultados de las investigaciones realizadas por (Vázquez-Pérez, 2022; Rodríguez, et al., 2016; Vélez, 2018; Villavicencio, 2021).

A pesar de los esfuerzos realizados por el gobierno en los últimos años para incrementar la cobertura del servicio eléctrico en las zonas rurales, en el año 2019 el 9% de la población rural en la provincia de Manabí no contaba con los servicios de energía eléctrica y la parte rural electrificada se realizó a partir de la extensión de las redes eléctricas del sistema convencional mediante inversiones costosas, que a pesar de ello no garantiza la confiabilidad y calidad del servicio, en especial durante la etapa de invierno, según se pudo verificar a partir de los datos aportados por (Arconel, 2019) y los resultados de las investigaciones realizadas por (Rodríguez et al., 2016).

En las zonas rurales la energía fotovoltaica de sistemas autónomos puede asegurar el suministro de energía con calidad y con menor costo, lo que ressignifica la importancia del aprovechamiento de la energía solar para lograr el desarrollo local sostenible en el contexto rural. Desde el punto de vista económico los costos de la extensión de la red eléctrica convencional se pueden justificar hasta los 5 kilómetros entre la ubicación de los asentamientos poblacionales en relación con la red. A partir de los 5

kilómetros el costo de la inversión se incrementa progresivamente y los proyectos pueden resultar inviables económicamente en concordancia con los resultados del estudio realizado por (Gómez y Jorge, 2019; Vázquez-Pérez, 2022).

Durante el análisis de la electrificación rural mediante la extensión de la red eléctrica convencional, se comprobó que las líneas eléctricas están extendidas por zonas que presentan un terreno irregular y que en la etapa invernal se dificulta el acceso a las mismas, lo que encarece el costo de los trabajos de mantenimiento y las reparaciones de averías que pueden surgir producto de fallas técnicas e interrupciones del servicio. Se pudo conocer que en estas zonas es frecuente que se produzcan fallas del servicio eléctrico por tiempos prolongados, que en algunos casos pueden ser de más de una semana, lo que muestra consonancia con lo señalado por (EIA, 2017).

El análisis de la conveniencia económica asociada con la introducción de los sistemas fotovoltaicos autónomos para la electrificación rural en la provincia de Manabí, permite conocer que dichos sistemas son más adecuados desde el punto de vista económico, ambiental y social, lo que está respaldado en los resultados del análisis del costo de la extensión de la red en la zona rural, que se incrementa con la distancia entre las comunidades y la línea eléctrica. Los sistemas fotovoltaicos son menos costosos y más amigables desde el punto de vista ambiental, en concordancia con los resultados de la investigación realizada por (Banda, 2017; Parrondo et al., 2013).

Una de las principales limitaciones que se encontró en el estudio, consiste en la falta de conocimientos sobre la reserva potencial de la energía solar y las formas de su aprovechamiento, por parte de los agentes y el personal facultado para la toma de decisiones en el sector energético y los actores políticos de la provincia de Manabí, lo que se refleja en los escasos recursos financieros destinados para la introducción de la tecnología fotovoltaica, en interés de la electrificación rural en el territorio,

en concordancia con la política aplicada por el FERUM (Conelec, 2015).

La falta de transparencia de la información sobre el potencial solar del territorio y las formas de su aprovechamiento, impide que por parte de la sociedad se despierte el interés por el aprovechamiento de la energía solar y la electrificación rural en los sectores que aún no cuentan con el servicio eléctrico.

Por otra parte, esta investigación constituye un modesto intento para profundizar en el estudio y análisis relacionado con el aprovechamiento del potencial solar, mediante la introducción de la tecnología fotovoltaica para la electrificación rural en la provincia de Manabí, como un elemento clave que permita fomentar una educación energética inclusiva y sostenible, que promueve la aplicación de proyectos innovativos sustentados en alternativas energéticas viables, encaminadas a beneficiar la sociedad rural mediante el aprovechamiento de recursos endógenos disponibles en las localidades.

Como proyecto inmediato se pretende el diseño y desarrollo de una instalación fotovoltaica autónoma para el suministro de energía a una vivienda rural en el territorio de Manabí, que permita la profundización del conocimiento relacionado con las repercusiones energéticas, económicas, ambientales y sociales vinculadas con el proyecto, al propio tiempo que sirva como un proyecto demostrativo que facilite el desarrollo de otros proyectos de electrificación rural en el territorio.

## Conclusiones

La investigación permitió el cumplimiento del objetivo propuesto y la verificación de la hipótesis, al demostrar la factibilidad energética, económica, ambiental y social vinculada con la introducción de la tecnología fotovoltaica, en interés de la electrificación rural en la provincia de Manabí.

La aplicación de los sistemas fotovoltaicos autónomos para la electrificación

rural en Manabí resulta una opción económica viable, al ser menos costosos que la extensión de la red eléctrica. Desde el punto de vista energético son capaces de suministrar energía limpia a la sociedad con una elevada calidad y confiabilidad, así como propiciar el ahorro de combustible no renovable. Desde el punto de vista ambiental logran reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por concepto de generación y suministro de energía eléctrica a los usuarios. Desde el ángulo social permiten una mayor relocalización de las fuentes energéticas, donde la sociedad se convierte en proveedor directo de la energía que consume, para favorecer un mayor nivel de conciencia social en torno al uso eficiente de la energía.

## Referencias

- Abad-Cisneros, A. (2020). *Análisis de contenidos con enfoque cuantitativo*. Obtenido de Análisis de contenidos con enfoque cuantitativo: <https://www.ucuenca.edu.ec/component/content/article/233-espanol/investigacion/blog-de-ciencia/1599-analisis-de-contenido?Itemid=437>.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad [Arconel]. (2016). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2016*. Ecuador. Documento en línea. <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/08/Estad%C3%ADstica-anual-y-multianual-sector-el%C3%A9ctrico-2016.pdf>.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad [Arconel]. (2018). *Balance Nacional de Energía Eléctrica*. Ecuador, Documento en línea. <https://www.regulacioneolica.gob.ec/balance-nacional/>.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad [Arconel]. (2019). *Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano 2019*. (Documento preliminar). Ecuador. <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/>

- Est\_2019\_Borrador\_08-06-2020\_1606.pdf.
- Agencia Internacional de Energía [EIA]. (2017). *International Energy Outlook 2017*. Agencia Internacional de Energía. Informe september 14, 2017. Publicación en línea. [https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484\(2017\).pdf](https://www.eia.gov/outlooks/ieo/pdf/0484(2017).pdf).
- Agencia Internacional de Energía [EIA]. (2020). *Annual Energy Outlook 2020. with projections to 2050*. Agencia Internacional de Energía. <https://www.eia.gov/outlooks/archive/aeo20/pdf/AEO2020.pdf>.
- Agencia Internacional de Energía [EIA]. (2021). *Perspectivas energéticas mundiales 2021*. Extracto del informe Resumen Ejecutivo de la Agencia Internacional de Energía. World Energy Outlook. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021/executive-summary>.
- Álvarez, J. J., y Moreno, J. A. (2017). *Estudio de prefactibilidad para la instalación de un horno solar para secado de madera en el Programa Institucional de Madera (PIMA) para el periodo 2018-2022*. [Tesis de grado]. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua Nicaragua. <https://core.ac.uk/reader/288314630>.
- Banda, A. M. (2017). Estudio de viabilidad técnica y económica de un sistema fotovoltaico autónomo en las instalaciones de la UCSP. [Tesis de grado]. Universidad Católica de San Pablo, Arequipa Perú. <https://repositorio.ucsp.edu.pe/backend/api/core/bitstreams/b7f580db-cc71-432d-85df-06fd28643c81/content>.
- Baqir, M., y Channi, H. K. (2022). Análisis y diseño de sistema solar fotovoltaico mediante software Pvsyst. *Materiales hoy: Actas*, 48, 1332-1338. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785321058259>.
- Barroso, M., y Flores, D. (2010). *Teoría y estrategias de Desarrollo Local*. Editado por Universidad Internacional de Andalucía España. ISBN: 978-84-7993-205-3. [https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/3817/2010\\_desarrollolocal.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.unia.es/bitstream/handle/10334/3817/2010_desarrollolocal.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
- Consejo Nacional de Electricidad [Conelec]. (2008). Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. Corporación para la investigación energética (CIE). <http://energia.org.ec/cie/wp-content/uploads/2017/09/AtlasSolar.pdf>
- Consejo Nacional de Electricidad [Conelec]. (2015). *Capítulo 9. Desarrollo de la energización rural y la electrificación urbano-marginal*. Ministerio de Electricidad y Energías renovables del Ecuador. <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/10/PME0920CAP9.pdf>.
- Corporación Eléctrica del Ecuador [Celec EP]. (2018). *Central Miraflores*. Corporación Eléctrica del Ecuador. Publicado en línea. <https://www.celec.gob.ec/termomanabi/index.php/centrales/central-jaramijo>.
- Dafermos, G. Kotsampopoulos, P. Latoufis, K. Margaris, L. Rivela, B. Paulino, F. Ariza-Montobbio, P., y López, J. (2015). *Energía: conocimientos libres, energía distribuida y empoderamiento social para un cambio de matriz energética*. Documento de política pública 2.4. Línea 2: Capacidades productivas materiales orientadas a los comunes. [https://www.researchgate.net/publication/281453229\\_Energia\\_conocimientos\\_libres\\_energia\\_distribuida\\_y\\_empoderamiento\\_social\\_para\\_un\\_cambio\\_de\\_matriz\\_energetica\\_v10](https://www.researchgate.net/publication/281453229_Energia_conocimientos_libres_energia_distribuida_y_empoderamiento_social_para_un_cambio_de_matriz_energetica_v10).
- Díaz, M. (2020). *Electrificación rural de una comunidad africana mediante energía solar fotovoltaica*. [Tesis de grado]. Universidad de Jaén España. <https://crea.ujaen.es/bitstream/10953.1/19527/1/TFG%20MAnuel%20d%c3%adaz%20Alcal%c3%a1.pdf>.
- Essays, U. K. (2018). *Strategic Human Resources Management of HCL Technologies*. <https://www.hcltech.com/>

- digital-business/human-capital-management.
- Feria, H., Mantilla, M., y Mantecón, S. (2020). La entrevista y la encuesta: ¿métodos o técnicas de indagación empírica? *Revista Didáctica y Educación. Vol. 11* Num. 3. <https://revistas.ult.edu.cu/index.php/didascalía/article/view/992>.
- Gallegos, R. H. (2017). *Análisis de factibilidad para la instalación de un sistema de energía limpia mediante celdas fotovoltaicas para la alimentación eléctrica del edificio 4 en el ITSLV*. [Tesis de maestría]. CIATEQ, (109) Villa Hermosa, Tabasco México. <https://ciateq.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1020/97/1/HernandezGallegosRodolfo%20MMANAV%202017.pdf>.
- García, G., y Tandazo, E. (2013). *La utilización de la energía fotovoltaica en el Ecuador*. [Tesis de grado]. Universidad de Guayaquil. <https://repositorio.ug.edu.ec/items/354fa3d5-acce-4515-8dc7-a1e7b2cf8601>.
- Gómez, D., y Jorge, O. (2019). *La política energética en estados unidos en la actualidad*. Boletín Económico de ICE 3110, del 1 AL 30 de abril de 2019. [http://www.iberglobal.com/files/2019-1/usa\\_energia\\_bice.pdf](http://www.iberglobal.com/files/2019-1/usa_energia_bice.pdf).
- Guamán, K. A., Hernández, E. L., y Lloay, S. I. (2021). El proyecto de investigación: la metodología de la investigación científica o jurídica. *Conrado*, 17(81), 163-168. [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1990=86442021000400163-&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1990=86442021000400163-&script=sci_arttext&tlng=en).
- Hernández, O. (2021). Aproximación a los distintos tipos de muestreo no probabilístico que existen. *Revista cubana de medicina general integral*, 37(3). [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21252021000300002&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-21252021000300002&script=sci_arttext).
- Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica [IMNCR]. (2018). *Factores que influyen en la radiación UV en la superficie*. Costa Rica. Publicación en línea. <https://www.imn.ac.cr/documents/10179/27818/factores-influyen-radiac-UV.pdf/187e5ea7-7c11-4ed7-955b-4e35c2f0ebf1>.
- Marroquín, J., y Ríos, H. (2017). Crecimiento económico, precios y consumo de energía en México. Ensayos. *Revista de economía*, vol.36 no.1 Monterrey may. 2017. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2448-84022017000100059](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-84022017000100059).
- Muñoz, V. (2009). *Todo lo que un arquitecto quiso saber sobre instalaciones fotovoltaicas y nunca se atrevió a preguntar*. Archive for the 'Instalaciones Fotovoltaicas'. Category ESC wins competition for a public space in Mula (Spain) – ESC gana un concurso de un espacio público en Mula España. <https://spaceformwords.wordpress.com/category/instalaciones-fotovoltaicas/>.
- Muñoz-Vizhñay J. Rojas-Moncayo, M., y Barreto-Calle, C. (2018). Incentivo a la generación distribuida en el Ecuador. *INGENIUS, Revista de ciencia y tecnología*. <https://doi.org/10.17163/ings.n19.2018.06>.
- Ortega, O., y Boada, A. (2013). *Procedimiento técnico para la implementación de micro centrales eléctricas utilizando paneles fotovoltaicos*. [Tesis de grado]. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. Ecuador. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6348>.
- Palmero, S. (2021). *La enseñanza del componente gramatical: el método deductivo e inductivo*. Tesis de maestría. Universidad de la Laguna. <https://riullull.es/xmlui/handle/915/23240>.
- Parrondo, J. L. Eisman, J., y Díez, L. (2013). Planificación integrada de electrificación mediante SIG. *Anales de mecánica y electricidad / enero-febrero 2013. Vol. XC, n°. I*, pp. 32 - 37. [https://www.iit.comillas.edu/publicacion/revista/es/686/Planificaci%C3%B3n\\_integrada\\_de\\_electrificaci%C3%B3n\\_mediante\\_SIG](https://www.iit.comillas.edu/publicacion/revista/es/686/Planificaci%C3%B3n_integrada_de_electrificaci%C3%B3n_mediante_SIG).

- Pirela, A. L., y Pérez, C. E. (2019). Análisis estadístico en investigaciones positivistas: medidas de tendencia central. *Orbis: revista de Ciencias Humanas*, 15(43), 71-81. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7065797>.
- RES & RUE Dissemination. (2004). *Energía Solar*. <https://docplayer.es/74145813-Energia-solar-proyecto-res-rue-dissemination-i-introduccion.html>.
- Roca, J. (2020). *La producción de energía en EEUU superó en 2019 al consumo por primera vez en 62 años*. Página web: el periódico de energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/la-produccion-de-energia-en-eeuu-supero-en-2019-al-consumo-por-primera-vez-en-62-anos/>.
- Rodríguez, M. Castillo, W. Vázquez, A., y Saltos, W. (2016). Economic Feasibility of Extending the Mains. *International Scientific Research Organization Journal ISROJ Publication*. Volume 01. Issue 01. January 20 16. [https://www.researchgate.net/publication/320564651\\_Economic\\_Feasibility\\_of\\_Extending\\_the\\_Mains](https://www.researchgate.net/publication/320564651_Economic_Feasibility_of_Extending_the_Mains).
- Salazar, L. Guzmán, B., y Bueno, A. (2018). Análisis de medidas de ahorro de energía en una empresa de producción. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, núm. 19, pp. 40-50. <https://www.redalyc.org/jatsRepo/5055/505554803004/html/index.html>.
- Sánchez, A. Martínez, D. De la Luz, R. Ortega, J., y Sánchez, P. A. (2017). *Aplicaciones fotovoltaicas de la energía solar en los sectores residencial, servicio e industrial*. Universidad Nacional Autónoma de México. <http://www.fordecyt.ier.unam.mx/pdf/pdfFotoVoltaico.pdf>.
- Sánchez, G. Figueroa, S. Vidales, A. (2009). *La ciencia y tecnología en el desarrollo: Una visión desde América Latina*. Universidad Autónoma de Zacatecas, Cooperación internacional; Ciencia y tecnología. <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Mexico/uacp-uaz/20100322012242/CYTED.pdf>.
- Sánchez, M. Á. (2010). *Energía solar fotovoltaica*. Ed. Limusa, pág.9. <https://bibliotecaduitama.files.wordpress.com/2011/04/energia-solar-fotovoltaica.pdf>.
- Sánchez, P., y Hall, M. (2019). *El costo de instalación de un megavatio de capacidad fotovoltaica cae un 12 % respecto a 2017*. *PV. MAGAZINE*. En línea: <https://www.pv-magazine-latam.com/2019/01/17/el-mercado-fotovoltaico-espanol-ha-multiplicado-por-siete-la-inversion-en-energias-renovables/>.
- Schweickardt, G., Agosti, A., y Rodrigo, R. (2020). Modelo para el estudio de la Paridad de Red en Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica de baja tensión con Microgeneración Distribuida. *Revista Investigación Operativa*, Vol. 28 Núm. 48. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/epio/article/view/31103>.
- Ugarte, F. (2014). *Implementación de un sistema de paneles fotovoltaicos (solares) para suministro de energía eléctrica en los exteriores de un condominio*. [Tesis de grado]. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1237/1/T-UCSG-PRE-ESP-CFI-4.pdf>.
- Valladolid, M. N., y Chávez, L. M. N. (2020). El enfoque cualitativo en la investigación jurídica, proyecto de investigación cualitativa y seminario de tesis. *Vox juris*, 38(2), 69-90. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7628480>.
- Vázquez-Pérez, A. (2022). *El manejo de fuentes renovables de energía para el desarrollo local endógeno y sostenible en la provincia de Manabí*. Tesis doctoral. Universidad de Alicante, España. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/129052>.

- Vázquez-Pérez, A. Rodríguez, M. Villacreses, C., y Vélez, A. (2019). Local Energy Development and Sustainability: The Ecuadorian University. *Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems*, volumen 11, número 05-Special-2019, P: 451-458. <http://jardcs.org/abstract.php?id=1061>.
- Vélez, A. M. (2018). Estudio de la Eficiencia de los sistemas fotovoltaicos y su impacto socio económico en la zona rural del Cantón Chone, Manabí, Ecuador. *Revista Riemat enero-junio*, volumen 3, número 1. art. 5. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/1420/1500>.
- Villavicencio, M. A. (2021). Generación de energía termoeléctrica y las emisiones de CO<sub>2</sub> en el Perú 2019. [Tesis doctoral]. Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima Perú. <http://190.12.84.13:8080/bitstream/handle/20.500.13084/4741/VILLAVICENCIO%20CH%c3%81VEZ%20MANUEL%20AUGUSTO%20%20-%20DOCTOR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.