

Energía solar fotovoltaica para mitigar huella de carbono en residencias de la ciudad de Chiclayo

Photovoltaic solar energy to mitigate carbon footprint in residences in the city of Chiclayo

Frank R. Rodríguez¹, Martín A. Nombra¹, Ernesto K. Celi, Patricia M. Torres²

¹Departamento Académico de Computación y Electrónica, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

Calle Juan XXIII s/n Lambayeque -Perú.

²Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de Frontera

*e-mail: frodriguez@unprg.edu.pe

Resumen

Este estudio tuvo como propósito principal estimar la cantidad de huella de carbono mitigado en unidades de CO₂eq por uso de sistema fotovoltaico aislado en residencias tipo 1, tipo 2, tipo 3 y tipo 4 de la ciudad de Chiclayo. El tipo y alcance de la investigación es descriptiva no experimental, bajo enfoque cuantitativo, aplicándose un cuestionario de 30 preguntas para conocer el dimensionamiento del consumo eléctrico de cada hogar y la situación socioeconómica de los residentes; así como el análisis de recibos para conocer el consumo mensual de energía eléctrica en una muestra de 100 hogares, seleccionados bajo la técnica no probabilística por conveniencia de la siguiente manera: distrito de La Victoria 17 hogares, distrito de José Leonardo Ortiz, 30 hogares y distrito de Chiclayo, 53 hogares. Para el análisis descriptivo se tomó como referencia bases teóricas sobre la huella de carbono que se genera según la fuente de generación de energía y su impacto en el ambiente; y el cálculo del consumo eléctrico y la medición de la huella de carbono generada se realizó con tablas de equivalencias según el tipo de artefacto utilizado y la calculadora pública de huella de carbón del Ministerio del Ambiente de Perú. Los resultados del estudio nos indican que el consumo eléctrico diario promedio según el tipo de residencia es de 2.64 kWh/día para residencias del Tipo 1, 3.52 kWh/día para residencias del Tipo 2,

4.40 kWh/día para residencias del Tipo 3 y de 5.28 kWh/día para residencias del Tipo 4. Así mismo, se logró determinar los componentes del sistema fotovoltaico propuesto para cubrir el consumo mensual, estimándose la cantidad de huella de carbono mitigado por día, mes, año y 20 años. Por último, se estimó el costo de implementación y sostenibilidad de los sistemas fotovoltaicos propuestos, según el tipo de residencia.

Palabras claves: Energía fotovoltaica, huella de carbono, consumo de energía eléctrica.

Abstract

The main purpose of this research was to estimate the amount of carbon footprint mitigated in CO₂eq units by the use of isolated photovoltaic systems in type 1, type 2, type 3 and type 4 residences in the city of Chiclayo. The type and scope of the research is descriptive, non-experimental, under a quantitative approach, applying a 30-question questionnaire to know the dimensioning of the electrical consumption of each home and the socioeconomic situation of the residents; as well as the analysis of receipts to know the monthly consumption of electrical energy in a sample of 100 homes, selected under the non-probabilistic technique for convenience as follows: district of La Victoria, 17 homes, district of José Leonardo Ortiz, 30 homes and district of Chiclayo, 53 homes. For the descriptive analysis, theoretical bases on the

carbon footprint that is generated according to the source of energy generation and its impact on the environment were taken as reference; and the calculation of electrical consumption and the measurement of the carbon footprint generated was carried out with equivalence tables according to the type of device used and the public carbon footprint calculator of the Ministry of the Environment of Peru. The results of the study indicate that the average daily electricity consumption according to the type of residence is 2.64 kWh/day for Type 1 residences, 3.52 kWh/day for Type 2 residences, 4.40 kWh/day for Type 2 residences. 3 and 5.28 kWh/day for Type 4 residences. Likewise, it was possible to determine the components of the proposed photovoltaic system to cover monthly consumption, estimating the amount of carbon footprint mitigated per day, month, year and 20 years. Finally, the cost of implementation and sustainability of the proposed photovoltaic systems was estimated, depending on the type of residence.

Key words: Photovoltaic energy, carbon footprint, electrical energy consumption.

Introducción

La contaminación ambiental en nuestro planeta está agudizándose, siendo una fuente la contaminación por generación eléctrica. Indudablemente la autogeneración de energía fotovoltaica es una herramienta imprescindible y oportuna para cumplir en España objetivos relacionados con el cambio climático. En la generación eléctrica se debe lograr mitigar su impacto medioambiental, democratizando su gestión y uso de energía, colocando al ciudadano en el centro del sistema. Así lo han entendido muchos países a nivel mundial (Ayala, 2019).

La energía solar fotovoltaica, consiste en la generación de electricidad directamente de la radiación del sol, utilizando como medio un dispositivo semiconductor llamado célula fotovoltaica (Osinermin, 2017).

Los sistemas fotovoltaicos autónomos, no se encuentran conectados a la red de energía

eléctrica y están conformados por los siguientes elementos: paneles fotovoltaicos, baterías, controlador de carga y convertidor (Osinermin, 2019).

La huella de carbono la podemos entender como la medición de cantidad total exclusiva de emisión de dióxido de carbono (CO₂) que directa o indirectamente es causada por una actividad o que también es acumulada durante las etapas de vida de un producto (Wiedmann & Minx, 2007).

Según lo descrito en una investigación, la energía total que se podría obtener de depósitos reconocidos en nuestro planeta de petróleo, carbón y gas, equivale a la energía que se recibe del Sol en solo 56 días (Malinkiewicz, 2017).

La producción energética consumida en el Perú se genera de diversas fuentes. Como referencia, al mes de febrero del 2021, predomina la energía hidráulica con 68%, seguido de la energía térmica con 28 %, en tercer lugar, encontramos la energía eólica con 3% y en cuarto lugar la energía solar con solo el 1% (Ministerio de Energía y Minas, 2021).

El promedio anual de irradiación global solar en Lambayeque es de 5.38 kWh/m²/día, entregando anualmente 1.96 MWh/m², indicando con este valor un potencial solar muy rentable, según la Organización Latinoamericana de Energía – OLADE. Las irradiaciones anuales promedio superiores a 4,0 kWh/m²/día son rentables y de 5,0 kWh/m²/día son muy rentables. Entre los meses de diciembre y febrero se registran los más altos valores de irradiación (Gástelo et al. 2017).

Los costos de electricidad a gran escala proveniente de fuentes fotovoltaicas en el año 2019 cayeron en 13%, llegando a 6,8 centavos de dólar por kilovatio-hora (kWh) (Energías renovables, 2020).

El ministerio del Ambiente del Perú, mediante la Dirección General de Cambio Climático y Desertificación, indica que debido al aislamiento social que vive nuestro país, en el marco de la Covid 19, se evitó emitir 400,000

toneladas de gases de efecto invernadero (CO₂eq) por generación eléctrica, equivalente a evitar el consumo de más de 31 millones de galones de Diésel B5 (El Peruano, 2020).

El Instituto Nacional de Estadística e Informática – INEI, en base a los resultados de los Censos Nacionales del año 2017, indica que el número de hogares del distrito de Chiclayo es de 64,494 viviendas, los hogares del distrito de José Leonardo Ortiz son de 35,679 viviendas y el distrito de La Victoria está formado por 20,211 hogares (INEI, 2018).

En la provincia de Lambayeque se estimó la irradiación usando los datos del periodo 2014-2019 proporcionados por el Senamhi, aplicando el modelo empírico de Bristow-Campbell, modelo que se tomó como referencia en la construcción del Atlas Solar del Perú. El trabajo permitió el diseño a medida de sistemas solares según su requerimiento eléctrico o calórico, con confiabilidad, seguridad y economía. En los resultados se obtuvo promedios globales de: Estación Lambayeque el valor de 3,873 kWh/m²/día; Estación Cerro de Arena el valor de 5,789 kWh/m²/día; Estación Pasaje Sur el valor de 6,770 kWh/m²/día; Estación Jayanca valor de 5,823 kWh/m²/día. En sus conclusiones indica que la provincia de Lambayeque, presenta un clima sub tropical seco, escasez de lluvia, topografía prácticamente plana, se realizó la estimación de la irradiación solar H disponible, teniendo en cuenta el parámetro $a = 0,75$ (Farfán, 2020).

La disponibilidad de energía solar es alta en casi todas las localidades del Perú, con uniformidad durante el año, comparado con otros países, esto hace atractivo el uso de esta energía en el Perú. El promedio anual en costa y selva es entre 4 y 5 kWh/m²/día; de norte a sur va aumentando entre 5-6 kWh/m²/día. En conclusión, en el Perú la energía solar incidente es suficiente para satisfacer la necesidad energética de una familia con unos pocos metros cuadrados (Astócondor, 2018).

En una investigación realizada con el objetivo de determinar la precisión con el que las redes neuronales artificiales (RNA) predicen en colectores solares y módulos

fotovoltaicos la generación de energía. Como conclusión se obtuvo que la mejor predicción es con el modelo NARX, con precisión entre 97% y 98% (Arellanos, 2018).

En una tesis se realizó la fabricación de celdas solares de bajo costo, de eficiencia baja, para lo cual se usó el silicio amorfo hidrogenado de lámina delgada y equipo del laboratorio de semiconductores de la Universidad Nacional de Ingeniería. En las conclusiones del trabajo de tesis se obtuvo una película delgada o celda solar de silicio amorfo hidrogenado, con un espesor entre 2,3973 μm a 2,4356 μm , con tiempo de deposición entre 100 a 150 horas, dando como resultado el tipo “p” y tipo “n” (Kehuarucho, 2018).

En una investigación se indica que el sistema de bombeo solar es prácticamente no contaminante durante su uso y la vida promedio de un panel solar es de 25 años (después puede reciclarse alrededor del 85% y el 15 % restante debe tener una disposición final adecuada). En esta investigación también se determinó la cantidad de CO₂ generado por quema de diésel o gasolina. Se obtuvo el valor de 10,13 Kg de CO₂/galón de diésel y 9,00 Kg de CO₂/galón de gasolina. Como conclusión, respecto al tema técnico – económico del sistema de bombeo solar, se indica que su costo inicial es alto, pero en el tiempo resulta rentable, comparándolo con el bombeo usando diésel (Farfán, 2018).

Usar fuentes no convencionales de energía es ahora de gran interés mundial, gracias a la diversificación de la matriz energética y el mejoramiento de la conciencia del cuidado del medio ambiente de los países. Por ello se han plasmado diversos compromisos internacionales, como el protocolo de Kyoto en el año 1997, el acuerdo de Copenhague del año 2009 y la plataforma de Durban del año 2011, con el objetivo de mitigar los efectos del cambio climático. El Perú está experimentando un crecimiento económico sostenido, que genera mayor demanda energética eléctrica, y la oferta de generación a futuro debe adecuarse

a la demanda, considerando la preservación del medio ambiente, por ello se debe incentivar que un gran porcentaje de la oferta energética sea de energías renovables no convencionales, que en términos ambientales es una opción limpia y beneficiosa (Hurtado, 2017).

En una investigación indica que por desequilibrios y deficiencias del sistema energético, la Comisión Europea se vio motivada a tomar acciones para disminuir el consumo de energía, esto se manifiesta en el informe 2018 de la International Energy Agency, que indica que en el 2017 se instaló la cantidad de 99 GW fotovoltaicos en el mundo, incrementando a la potencia del año anterior en 30%, llegando a la cifra total acumulada de 400 GW, lo que muestra una evolución positiva en los últimos años, esto debido a factores como: madurez tecnológica de los sistemas, baja de precios de los paneles fotovoltaicos y las políticas implementadas. En sus conclusiones indica que los sistemas de autoconsumo sin baterías presentan porcentajes de ahorro energético entre 30 y 40 %, porcentajes que son mejorados con condiciones climáticas favorables (Ayala, 2019).

En un trabajo de investigación, indica que los países de Sudamérica muestran un lento crecimiento en lo que respecta a la instalación de energía solar fotovoltaica, atribuyendo parte de la causa al bajo desarrollo de instrumentos regulatorios o políticas orientados a impulsar la energía solar fotovoltaica. Chile y Perú han aprobado leyes específicas, Brasil y Uruguay han aprobado solo mandatos específicos para la energía solar fotovoltaica, el resto de países muestran bajo desarrollo de políticas orientadas a impulsar las energías renovables no convencionales. En sus conclusiones respecto al país vecino del Ecuador, menciona que las principales

limitantes para el uso a gran escala de la tecnología solar fotovoltaica son: falta de financiamiento y las políticas dadas, las cuales están dirigidas para la energía hidroeléctrica y subsidios de combustibles fósiles (Ponce, 2019).

En un trabajo de investigación realizado en España, indica que existe gran variedad de módulos fotovoltaicos, así como soluciones constructivas para integrar la energía solar fotovoltaica en edificios. Las condiciones de trabajo que experimentan las plantas fotovoltaicas son diferentes a las condiciones de módulos fotovoltaicos en aplicaciones arquitectónicas. En conclusión, las normativas están dadas para módulos de plantas fotovoltaicas, no tomando en cuenta el uso de módulos fotovoltaicos en edificios (Moralejo, 2018).

El problema de esta investigación es ¿En qué medida se mitigará la huella de carbono eléctrico residencial con el uso de la energía fotovoltaica en la ciudad de Chiclayo, en el año 2022?, y su respuesta es la hipótesis de que con el uso de la energía fotovoltaica se mitigará la cantidad de huella de carbono eléctrico residencial generado por el consumo eléctrico. El objetivo general de esta investigación consiste en estimar la cantidad de huella de carbono mitigado en unidades de CO₂eq por el uso de sistema fotovoltaico en las residencias de la ciudad de Chiclayo. Los objetivos específicos de este trabajo son cuatro: el primero, estimar el consumo eléctrico de las residencias en la ciudad de Chiclayo; el segundo, determinar los componentes del sistema fotovoltaico, en función del consumo eléctrico residencial de la ciudad de Chiclayo; tercero, estimar costos de instalación y rentabilidad del sistema fotovoltaico residencial de la ciudad de Chiclayo; y cuarto, estimar la huella de carbono mitigado en unidades de CO₂eq de las residencias de la ciudad de Chiclayo.

En este marco se plantea el uso de sistemas fotovoltaicos aislados para generar energía eléctrica limpia para consumo en los hogares de la ciudad de Chiclayo, considerando la poca

inversión que se realiza en nuestro país en energías renovables, las condiciones climáticas con altos niveles de irradiación solar en Lambayeque y la tendencia de baja de costos de la energía solar fotovoltaica. Por las consideraciones antes descritas, el reemplazo de la energía eléctrica producida por centrales térmicas del sistema interconectado, podrá reemplazarse por generación de energía fotovoltaica domiciliaria, lo cual contribuiría a mitigar en alto porcentaje la huella de carbono producida por combustibles fósiles en nuestro país.

Metodología

Es una investigación descriptiva, bajo un enfoque cuantitativo, basada en la recopilación de datos del consumo eléctrico residencial y el dimensionamiento de los equipos fotovoltaicos necesarios, para así cubrir el consumo y proyectar la mitigación de su huella de carbono en las residencias.

La población estuvo formada por 120,384 residencias de Chiclayo, de la cual el 16.79% perteneció a La Victoria, el 29.64% correspondió a José Leonardo Ortiz y el 53.57% fue de Chiclayo. La muestra estuvo formada por 100 residencias, tomadas según porcentaje detallado en la población, de las cuales 17 fueron de La Victoria, 30 de José Leonardo Ortiz y 53 de Chiclayo.

La técnica que se utilizó es la encuesta, el instrumento fue un cuestionario de 30 preguntas, en la que la pregunta de la 1 a la 5 indaga acerca del aspecto socioeconómico del hogar, las preguntas de la 6 hasta la 30, sirvieron para indagar acerca de la dimensión del consumo eléctrico de cada hogar.

El método seguido en la investigación es: Primero, se determinó 4 rangos de montos que más porcentaje presentan como consumo de energía eléctrica por residencia. A dicho monto se le restará el 25 % correspondiente a impuestos de ley que son afectos los recibos de energía. Del valor obtenido, se toma el valor máximo de cada rango para cálculo del sistema fotovoltaico; Segundo, para estimar el consumo eléctrico residencial, se halló el consumo de energía

eléctrica (potencias consumidas en kWh) de las residencias de la ciudad de Chiclayo categorizadas en cuatro tipos (Residencia tipo 1, Residencia tipo 2, Residencia tipo 3 y Residencia tipo 4), analizando los artefactos eléctricos de mayor uso en cada hogar, así como las horas utilizadas de cada artefacto eléctrico.

Con tablas de consumo de artefactos y las horas, utilizando el Excel se determinó el consumo eléctrico referencial residencial mensual. Este consumo eléctrico domiciliario se contrastó con el valor referencial del consumo eléctrico pagado a la empresa de energía en el último mes (obtenido de la pregunta N°4 de nuestro instrumento de recolección de datos); Tercero, se determinó los componentes del sistema fotovoltaico, teniendo en cuenta los rangos de consumo diarios de energía de las residencias tipo 1, 2, 3 y 4. Estos cálculos se hicieron en base a datos técnicos de sistemas fotovoltaicos y el uso del Excel según Ejarque et al. (2013). Cuarto, se estimó los costos de instalaciones fotovoltaicas y rentabilidad, teniendo en cuenta el monto promedio mensual pagado a la empresa de energía, analizando la rentabilidad a largo plazo, para ello se usó la herramienta informática Microsoft Excel; Quinto, se estimó la cantidad de huella de carbono mitigado, en función de los kilowatts-hora (kWh) de energía consumida en cada hogar mensualmente y la tabla de equivalencia internacional de kWh a CO₂eq, para ello se utilizó el Microsoft Excel. Sexto, se calculó las emisiones de GEI por consumo de energía eléctrica, para ello se utilizó el factor nacional de 0.2611 tCO₂eq/MWh, factor utilizado en el evento mundial realizado en el Perú denominado COP20/CMP10 (Ministerio del Ambiente, 2015).

Resultados

Estimación del consumo eléctrico residencial

De la aplicación del instrumento de recolección de datos, se obtuvo porcentajes según la cantidad en soles que pagan las residencias de Chiclayo a la empresa de

Tabla 1*Cálculo de consumo de kWh/día según tipo de residencia*

Denominación	Monto pagado		Monto por energía (75% de monto)		kWh/mes		kWh/día	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Residencia tipo 1	51	75	38.25	56.25	53.87	79.23	1.80	2.64
Residencia tipo 2	76	100	57	75	80.28	105.63	2.68	3.52
Residencia tipo 3	101	125	75.75	93.75	106.69	132.04	3.56	4.40
Residencia tipo 4	126	150	94.5	112.5	133.10	158.45	4.44	5.28

Nota. Los valores de kWh/mes resulta dividiendo el monto por energía entre el valor de 0.71 soles que es el costo por kWh que se le paga a la empresa distribuidora de energía.

energía eléctrica. Al 12.7% se le denominó residencia tipo 1 y pagan por su recibo de consumo de energía eléctrica dentro del rango de 51 a 75 soles; el 21.6% se le denominó residencia tipo 2 y pagan 76 a 100 soles; el 20.6% se le denominó residencia tipo 3 y pagan entre 101 a 125 soles; el 10.8% se le denominó residencia tipo 4 y pagan entre 126 a 150 soles. El 34.3% de las residencias pagan recibos menores de S/. 51.00 soles y mayores a S/. 150.00 soles.

Tomando los valores máximos de la tabla 1, una residencia tipo 1 consume diariamente 2.64 kWh, una residencia tipo 2 consume 3.52 kWh, una residencia tipo 3 consume 4.40 kWh y una residencia tipo 4 consume 5.28 kWh.

Determinación de componentes de sistemas fotovoltaicos

Para el cálculo de los componentes del sistema fotovoltaico se emplearon las siguientes ecuaciones (Ejarque et al, 2013):

Ecuación 1: $N^{\circ} \text{ Paneles} = E / (Wp * HSP)$

Donde:

N° Paneles: Número de paneles solares.

E: Consumo energético real (en kWh/día).

Wp: Potencia del panel (en watts).

HSP: Horas Solar Pico.

La potencia Wp de paneles considerada es de 350 Watts; y el HSP tiene el valor de 4.17, que es el valor más bajo del año, correspondiente al mes de junio.

Ecuación 2: $I \text{ entrada} = Fseg_reg * Isc * N^{\circ} \text{ paneles}$

Donde:

I entrada: Corriente de entrada de regulador (Amperios).

Fseg_reg: Factor de seguridad (valor asumido de 1.25).

Isc: Corriente cortocircuito del panel (Amp=amperios)

Ecuación 3: $C \text{ bat} = (E * N) / (Pd * Vbat)$

Donde:

C bat: Capacidad de baterías (Amp-hora). N: Número de días de autonomía.

Pd: Profundidad de descarga. Vbat:

Voltaje de baterías

Ecuación 4: $Pinv = Pac * Fseg_inv$

Donde:

Pinv: Inversor (Watts); Pac: Potencia de cargas de corriente alterna=20%*E;

Fseg_inv: Factor de seguridad de inversor=1.20

De la aplicación de las 4 ecuaciones anteriormente descritas, en la tabla 2 se detalla los componentes del sistema fotovoltaico:

Tabla 2*Componentes del sistema fotovoltaico según tipo de residencia*

Tipo	N° paneles (Unidades)	Regulador (Amperios)	Capacidad de baterías (Ah)	Inversor (Watts)
Residencia tipo 1	2	23	314	634
Residencia tipo 2	3	35	419	845
Residencia tipo 3	4	35	524	1056
Residencia tipo 4	4	47	629	1267

Determinación de costo de instalación según tipo de residencia

Los elementos indispensables para

implementar el sistema fotovoltaico en los cuatro tipos de residencias se detallan en la tabla 3:

Tabla 3*Costos de instalación del sistema fotovoltaico según tipo de residencia*

Item	Descripción	Residencia Tipo 1		Residencia Tipo 2		Residencia Tipo 3		Residencia Tipo 4	
		Modelo	Cant.	Modelo	Cant.	Modelo	Cant.	Modelo	Cant.
1	Panel solar policristalino 350W/24V	Unidad	2	Unidad	3	Unidad	3	Unidad	4
2	Controlador MPPT 100V	30A	1	40A	1	40A	1	50A	1
3	Batería	320Ah-12V	2	230Ah-12V	4	600Ah-24V	1	600Ah-24V	1
4	Inversor Solar 24V	800VA	1	1200VA	1	1200VA	1	1600VA	1
5	Materiales adicionales	Varios	1	Varios	1	Varios	1	Varios	1
6	Estructura de soporte	Unidad	1	Unidad	1	Unidad	1	Unidad	1
7	Mano de obra	Unidad	1	Unidad	1	Unidad	1	Unidad	1
8	Costo de sistema fotovoltaico (S/.)	8,488.00		12,334.00		13,819.00		16,890.00	

Estimación de rentabilidad según tipo de residencia

Para una residencia de tipo 1, con un pago mensual de S/.75.00 que hace un pago anual (12 meses) de S/.900.00. La inversión inicial es de S/.8,488.00, la que en 9 años con 5 meses se terminaría de pagar la inversión inicial, proporcionando 7 meses energía gratis hasta el fin del año 9. En el año 10 se debe invertir S/.3,994.00 en cambio de baterías del sistema, las que se terminan de

pagar en el año 13 y 10 meses.

Considerando los 20 años de vida útil del sistema fotovoltaico, podríamos indicar que se tendría un total de 6 años y 9 meses de energía gratis total con el sistema fotovoltaico tipo 1. Teniendo un gasto acumulado de S/.18,000.00 y un ahorro acumulado de S/.5,518.00, la rentabilidad del sistema fotovoltaico para residencia tipo 1 es del 44.2 %.

Para una residencia de tipo 2, con un pago mensual de S/.100.00 que hace un pago anual (12 meses) de S/.1200.00. La inversión

inicial es de S/.12,334.00 y en el año 10 se debe invertir S/.6,480.00 en cambio de baterías del sistema, las que se terminan de pagar en el año 15 y 8 meses. Considerando los 20 años de vida útil del sistema fotovoltaico, podríamos indicar que se tendría un total de 4 años y 4 meses de energía gratis total con el sistema fotovoltaico tipo 2. Teniendo un gasto acumulado de S/.24,000.00 y un ahorro acumulado de S/.5,186.00, la rentabilidad del sistema fotovoltaico para residencia tipo 2 es del 27.6 %.

Para una residencia de tipo 3, con un pago mensual de S/.125.00 que hace un pago anual (12 meses) de S/.1500.00. La inversión inicial es de S/.13,819.00, la que en 9 años con 2 meses se terminaría de pagar la inversión inicial, proporcionando 10 meses energía gratis hasta el fin del año 9. En el año 10 se debe invertir S/.7,665.00 en cambio de baterías del sistema, las que se terminan de pagar en el año 14 y 3 meses. Considerando los 20 años de vida útil del sistema

fotovoltaico, podríamos indicar que

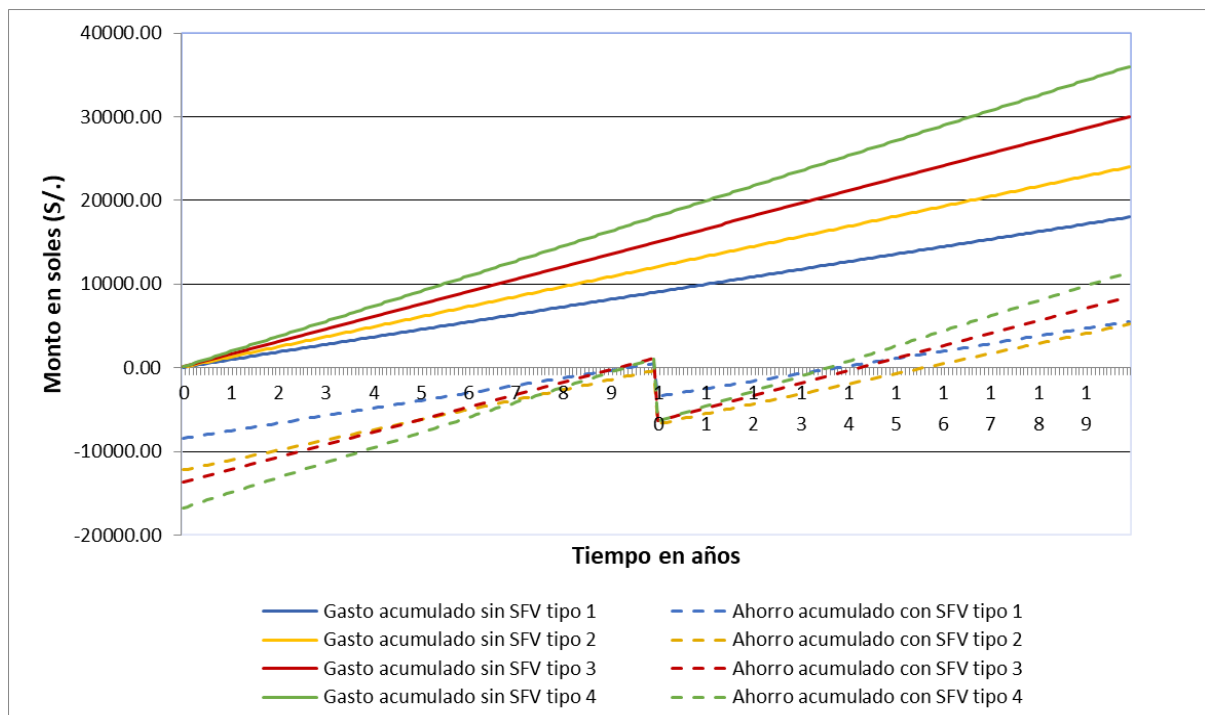
se tendría un total de 6 años y 7 meses de energía gratis total con el sistema fotovoltaico tipo 3. Teniendo un gasto acumulado de S/.30,000.00 y un ahorro acumulado de S/.8,516.00, la rentabilidad del sistema fotovoltaico para residencia tipo 3 es del 39.6 %.

Para una residencia de tipo 4, con un pago mensual de S/.150.00 que hace un pago anual (12 meses) de S/.1800.00. La inversión inicial es de S/.16,890.00, la que en 9 años con 4 meses se terminaría de pagar la inversión inicial, proporcionando 8 meses energía gratis hasta el fin del año 9. En el año 10 se debe invertir S/.7,665.00 en cambio de baterías del sistema, las que se terminan de pagar en el año 13 y 7 meses.

Considerando los 20 años de vida útil del sistema fotovoltaico, podríamos indicar que se tendría un total de 7 años y 1 mes de energía gratis total con el sistema fotovoltaico tipo 4. Teniendo un gasto acumulado de S/.36,000.00 y un ahorro acumulado de S/.11,445.00, la rentabilidad del sistema fotovoltaico para residencia tipo 4 es del 46.6 %.

Gráfica 1

Rentabilidad de sistemas fotovoltaicos según tipo de residencia



Estimación de huella de carbono mitigado

Se utilizó el factor nacional utilizado en el evento mundial realizado en el Perú denominado COP20/CMP10 (Ministerio del Ambiente, 2015). El valor del factor es de

0.26 tCO₂eq/MWh o 0.2611 Kg CO₂eq/kWh.

En la tabla 4, se detalla la cantidad de carbono mitigado para cada tipo de residencia de manera diaria, mensual y anual. La huella de carbono mitigado en 20 años, para la residencia tipo 1 es de 4.96 tCO₂, la residencia tipo 2 es de 6.62 tCO₂, la residencia tipo 3 es de 8.27 tCO₂ y la residencia tipo 4 es de 9.93 tCO₂.

Tabla 4

Estimación de huella de carbono mitigado diario, semanal y anual

Residencia	Factor (KgCO ₂ eq/ kWh)	Diario		Mensual		Anual	
		Consumo (kWh)	Carbono mitigado (KgCO ₂)	Consumo (kWh)	Carbono mitigado (KgCO ₂)	Consumo (kWh)	Carbono mitigado (KgCO ₂)
Tipo 1	0.2611	2.64	0.69	79.20	20.68	950.40	248.15
Tipo 2		3.52	0.92	105.60	27.57	1,267.20	330.87
Tipo 3		4.40	1.15	132.00	34.47	1,584.00	413.58
Tipo 4		5.28	1.38	158.40	41.36	1,900.80	496.30

Discusión

En cuanto al consumo eléctrico domiciliario, el mayor porcentaje son las residencias tipo 2 con un valor de 3.52 kWh/día o 105.6 kWh/mes, la cual comparada con el valor de la mediana del consumo eléctrico nacional (Osinergmin, 2021) es de 93 kWh/mes, la ciudad de Chiclayo supera esta mediana de consumo nacional, la que es superada por la mediana del consumo eléctrico de Lima Metropolitana cuyo valor es de 172 kWh/mes.

En el instrumento de recolección de datos que se aplicó para la presente investigación, hubo preguntas dirigidas para obtener el consumo eléctrico domiciliario, teniendo en cuenta el tiempo (en horas) usado por cada equipo eléctrico y sus potencias nominales de consumo (en watts), pero solo en algunas residencias consultadas se obtuvo la información cercana a lo contrastado por el monto del recibo de energía mensual que proporciona la empresa distribuidora de electricidad de la ciudad de Chiclayo, se asume que es debido a que utiliza información técnica de los equipos y las

horas precisas de uso, lo cual es un poco difícil determinar por los usuarios.

En el Perú la energía solar incidente es suficiente para satisfacer la necesidad energética de una familia con unos pocos metros cuadrados. El promedio anual en costa y selva es entre 4 y 5 kWh/m²/día; de norte a sur va aumentando entre 5 y 6 kWh/m²/día. Según un trabajo de investigación (Farfán, 2020) en la provincia de Lambayeque, que esta a pocos kilómetros de la provincia de Chiclayo, los valores promedio globales encontrados de irradiancia son 3.873 kWh/m²/día en Estación Lambayeque, 5.798 kWh/m²/día en Estación Cerro de Arena, 6.770 kWh/m²/día en Estación Pasaje Sur y 5.823 kWh/m²/día en Estación Jayanca. Estos valores se corroboran con el software PVGIS – Versión 5.2 del Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica, que para la zona de Chiclayo da para los diferentes meses del año valores entre 6.53 y 4.17 kWh/m²/día.

En una investigación se indica que el sistema de bombeo solar es prácticamente no contaminante durante su uso y la vida

promedio de un panel solar es de 25 años. Para el trabajo realizado, se ha proyectado una vida promedio del sistema fotovoltaico de 20 años, respetando el tiempo de vida de los sistemas de almacenamiento. Asimismo, indican que su costo inicial es alto, pero en el tiempo resulta rentable, lo cual esta investigación sostiene lo manifestado por el investigador (Farfán, 2018).

El incremento de la demanda energética en el Perú, teniendo en cuenta el cuidado del medio ambiente, se debe incentivar que un alto porcentaje de esta energía sea generada mediante energías renovables no convencionales, poniendo énfasis en la energía solar fotovoltaica. Esta evolución positiva que se dio en Europa y se debe replicar en nuestro país, sustentada en factores como; baja de precios de paneles solares, madurez tecnológica de sistemas y políticas a implementar.

Algunas de las principales limitantes para el uso de la energía solar fotovoltaica a gran escala son la falta de financiamiento y el bajo desarrollo de políticas orientadas al impulso de este tipo de energía. Por el contrario, las políticas impulsan la energía hidroeléctrica y en muchos casos el subsidio de combustibles fósiles.

De la inversión realizada en sistemas fotovoltaicos, aproximadamente el 50 % son invertidos en los elementos de almacenamiento de energía (baterías), se espera que a futuro los precios de las baterías tiendan a disminuir, y así se logre una mayor aplicación de los sistemas fotovoltaicos aislados.

La emisión de CO₂ promedio para el mercado automotriz de vehículos livianos-medios nuevos para el año 2012 es de 190,5 g/km. (Ministerio del Ambiente, 2014). La ruta de José Leonardo Ortiz al centro de Chiclayo presenta una distancia de 3 kilómetros aproximadamente, y produce

571.50 gCO₂; la residencia tipo 1 mitiga diariamente 690 gCO₂. El CO₂ producido por viajes en vehículos podrían ser compensado por el CO₂ mitigado por los

sistemas fotovoltaicos.

Conclusiones

El consumo eléctrico promedio diario en las residencias de Chiclayo en unidades de kWh/día es: El 12.7% corresponde a residencias tipo 1, con valor de 2.64; el 21.6% corresponde a residencias tipo 2, con el valor de 3.52; el 20.6% corresponde a residencias tipo 3, con 4.40; el 10.8% corresponde a residencias tipo 4, con 5.28. El 34.3% de las residencias presentan consumos promedios mensuales inferiores a 2.64 kWh/día y mayores a 5.28 kWh/día.

Los componentes del sistema fotovoltaico según tipo de residencia calculados son: Para residencias tipo 1 se necesita: 2 paneles solares de 350Wp/24 voltios, regulador de carga MPPT de 30 amperios, banco de 2 baterías con una capacidad de 320 amperios-hora, inversor de 24V/220VAC con 800 VA de potencia y accesorios; para residencias tipo 2 se necesita: 3 paneles solares de 350Wp/24 voltios, regulador de carga MPPT de 40 amperios, banco de 4 baterías con una capacidad de 230 amperios-hora, inversor de 24V/220VAC con 1,200 VA de potencia y accesorios; para residencias tipo 3 se necesita: 3 paneles solares de 350Wp/24 voltios, regulador de carga de 40 amperios, banco de baterías con una capacidad de 600 amperios-hora, inversor de 24V/220VAC con 1,200 VA de potencia y accesorios; para residencias tipo 4 se necesita: 4 paneles solares de 350Wp/24 voltios, regulador de carga de 50 amperios, banco de baterías con una capacidad de 600 amperios-hora, inversor de 24V/220VAC con 1,600 VA de potencia y accesorios.

Los costos de la implementación del sistema fotovoltaico para residencias tipo 1 es inicialmente de S/. 8,488.00, y al décimo año de S/. 3,994.00, se pagaría S/.75.00 mensuales, produciendo energía limpia gratuita total durante 6 años y 9 meses, obteniendo un ahorro acumulado de S/.5,518.00 y una rentabilidad del 44.2 %; para la residencia tipo 2, el costo de implementación es inicialmente de S/.12,334.00 y al décimo año de S/. 6,480.00,

se pagaría S/. 100.00 mensuales, produciendo energía limpia gratuita total de 4 años y 4 meses, obteniendo un ahorro acumulado de S/.5,186.00 y una rentabilidad del 27.6%; para la residencia tipo 3, el costo de implementación es inicialmente de S/.13,819.00 y al décimo año de S/.7,665.00, se pagaría S/.125.00 mensuales, produciendo energía limpia gratuita total de 6 años y 7 meses, obteniendo un ahorro acumulado de S/. 8,516.00 y una rentabilidad del 39.6%; para la residencia tipo 4, el costo de implementación es inicialmente de S/.16,890.00 y al décimo año de S/.7,665.00, se pagaría S/.150.00 mensuales, produciendo energía limpia gratuita total durante 7 años y 1 mes, obteniendo un ahorro acumulado de S/.11,445.00 y una rentabilidad del 46.6%.

La huella de carbono mitigado por el sistema fotovoltaico para la residencia tipo 1 es de 248.15 kilogramos de CO₂ por año, en el horizonte de 20 años la mitigación es de 4.96 toneladas de CO₂; para la residencia tipo 2 es de 330.87 kilogramos de CO₂ por año, en el horizonte de 20 años la mitigación es de 6.62 toneladas de CO₂; para la residencia tipo 3 es de 413.58 kilogramos de CO₂ por año, en el horizonte de 20 años la mitigación es de 8.27 toneladas de CO₂; para la residencia tipo 4 es de 496.30 kilogramos de CO₂ por año, en el horizonte de 20 años la mitigación es de 9.93 toneladas de CO₂.

Referencias

- Arellanos Tafur, E. H. (2018). *Redes neuronales para la predicción de la generación de energía de colectores solares y paneles fotovoltaicos*. Callao, Perú: UNC. Obtenido de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/3900>
- Astócondor Villar, J. (2018). *Modelado y control de sistema fotovoltaico con seguimiento del punto de máxima potencia para electrobombas solares en agricultura*. Callao, Perú: UNC. Obtenido de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/3830>
- Ayala Gilardon, A. (2019). *Modelos para*

la evaluación y optimización de instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo. Málaga, España: Universidad de Málaga. Obtenido de

<https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/19038>

- Ejarque Llopis, R., Marco Pastor, J., Jiménez Luque, A., & Escorihuela Sales, C. (2013). *Diseño de una instalación fotovoltaica aislada para una explotación avícola*. Castellón de la Plana: Universitat Jaume I. El Peruano. (15 de Abril de 2020). *El Peruano*. Obtenido de <https://elperuano.pe/noticia/94484-peru-disminuyo-mas-de-400000-toneladas-de-gases-de-efecto-invernadero-gei-solo-en-energia-electrica>

Energías renovables. (2020). Ni el carbón mas barato del mundo puede competir con las renovables. *Energías Renovables*, 6.

- Farfán Neyra, J. (2018). *Energía solar fotovoltaica para la explotación de agua subterránea, cuenca Motupe - Olmos - La Leche*. Chiclayo, Perú: UNPRG. Obtenido de

<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/3040>

- Farfán Neyra, J. L. (2020). *Evaluación del modelo empírico de Bristow-Campbell en el registro de la irradiación solar diaria en las estaciones meteorológicas del Senamhi de la Provincia de Lambayeque*. Lambayeque, Perú: UNPRG. Obtenido de

<http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/UNPRG/8701>

- Gastelo Roque, J. A., Morales Acevedo, A., & Tineo Soto, J. E. (2017). Estimación de la radiación solar diaria y ángulos de inclinación optimos para Lambayeque (Perú) utilizando el modelo de Hargreaves- Samani. *Ciencia*,

- Tecnología y Humanidades*, 15.
- Hurtado Zamora, O. (2017). *Evaluación de un modelo para las decisiones de inversión en proyectos de energías renovables y optimizar su rentabilidad – caso peruano energía eólica*. Trujillo, Perú: UNT. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/12814>
- INEI. (2018). *Perú: Características de las viviendas particulares y los hogares*. Lima: INEI.
- Kehuarucho Cardenas, D. W. (2018). *Elaboración de celdas solares de silicio amorfo hidrogenado, para el aprovechamiento de la energía solar*. Arequipa, Perú: UNSA. Obtenido de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/8045>
- Malinkiewicz, O. (2017). *Low cost, efficient, hybrid solar cells*. Valencia, España: Universidad de Valencia. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10550/59120>
- Ministerio de Energía y Minas. (2021). *Principales indicadores del sector eléctrico a nivel nacional Marzo 2021*. Lima.
- Ministerio del Ambiente. (2014). *Seguimiento ambiental del mercado automotriz peruano*. Lima: Ministerio del Ambiente.
- Ministerio del Ambiente. (2015). *De la COP/CMP10 al mundo: Manual de Cálculo y Neutralización de GEI para las COP/CMP*. Lima: A2G Climate Partners.
- Moralejo Vásquez, F. J. (2018). *Contribución a la mejora de la integración de la energía solar fotovoltaica en edificios*. Madrid, España: UCM. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/47660/1/T39927.pdf>
- Osinergmin. (2017). *La industria de la energía renovable en el Perú: 10 años de contribuciones a la mitigación del cambio climático*. Lima: Gráfica Biblos S.A.
- Osinergmin. (2019). *Energías renovables: experiencias y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética*. Lima, Perú: Gráfica Biblos S.A. Obtenido de https://www.osinergmin.gob.pe/seccion/centro_documental/Institucional/Estudios_Economicos/Libros/Osinergmin-Energias-Renovables-Experiencia-Perspectivas.pdf
- Osinergmin. (2021). *Informe de resultados Consumo y usos de la electricidad - Encuesta residencial de consumo y usos de energía 2019 2020*. Lima.
- Ponce Jara, M. A. (2019). *La energía solar fotovoltaica distribuida y las smart grid como modelo para diversificar la matriz energética de Ecuador*. Madrid, España: UNED. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=230692>
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2007). A definition of carbon footprint. *USA UK RESEARCH & CONSULTING*, 4. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/247152314_A_Definition_of_Carbon_Footprint