

Spatial distribution estimation of residential photovoltaic systems diffusion using binary logistic regression

Cristian Gregorio Flores Sánchez, Estudiante¹ , Jorge Alfredo Purisaca Millones, Estudiante² ,
Joel Villavicencio Gastelu, Dr.³ , y Angel E. Obispo, Dr.⁴ ,
^{1,4} Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú,
c23568@utp.edu.pe

Abstract— The increase in the use of emerging technologies, such as photovoltaic systems (SFV), highlights the importance of identifying areas with better conditions for their diffusion, thus promoting the adoption of renewable energy sources. Therefore, this work seeks to estimate the spatial distribution of household SFV using Binary Logistic Regression and the socioeconomic characteristics of the inhabitants. The values of the probabilities of installing SFVs, calculated using binary logistic regression, correspond to the response of the inhabitants regarding their decision to install an SFV. Thus, probability values close to one were found when the inhabitant's response was affirmative and close to zero when that response was negative. The diffusion results are shown using heat maps that facilitate the identification of areas with better conditions for the diffusion of SFVs. Therefore, the application of the methodology by renewable energy development entities can help them better direct their resources, to promote the dissemination of photovoltaic systems.

Keywords— Photovoltaic systems, spatial analysis, binary logistic regression, socioeconomic characteristics.

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Estimación de la distribución espacial de la difusión de los sistemas fotovoltaicos domiciliarios usando Regresión Logística Binaria

Cristian Gregorio Flores Sánchez, Estudiante¹ , Jorge Alfredo Purisaca Millones, Estudiante² ,
Joel Villavicencio Gastelu, Dr.³ , y Angel E. Obispo, Dr.⁴ 
^{1,4} Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú,
c23568@utp.edu.pe

Resumen: El incremento en el uso de tecnologías emergentes, como los sistemas fotovoltaicos (SFV), resalta la importancia de identificar zonas con mejores condiciones para su difusión, promoviendo así la adopción de fuentes renovables de energía. Por tanto, este trabajo busca estimar la distribución espacial de los SFV domiciliarios utilizando la Regresión Logística Binaria y las características socioeconómicas de los habitantes. Los valores de probabilidades de instalación de los SFV, calculados usando la regresión logística binaria, se corresponden con la respuesta de los habitantes sobre su decisión de instalar un SFV. Así, se encontraron valores de probabilidad cercanos a uno cuando la respuesta del habitante fue afirmativa y cercanas a cero cuando esa respuesta fue negativa. Los resultados de la difusión se muestran usando mapas de calor que facilitan la identificación de zonas con mejores condiciones para la difusión de los SFV. Por tanto, la aplicación de la metodología por parte de las entidades de desarrollo de energías renovables les puede ayudar a direccionar mejor sus recursos, a fin de promover la difusión de los sistemas fotovoltaicos.

Palabras clave— Sistemas fotovoltaicos, análisis espacial, regresión logística binaria, características socioeconómicas.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la energía eléctrica es crucial para el progreso industrial, educativo y sanitario de una nación. A pesar de ello, en Perú, ciertas regiones carecen de este servicio esencial, lo que restringe el avance económico, social y tecnológico, como se señala en [1]. Esta situación plantea desafíos significativos que afectan directamente la calidad de vida y las oportunidades de crecimiento en dichas áreas.

A. Contextualización y Planteamiento del Problema

En respuesta a la preocupación por el debilitamiento de la capa de ozono, en los últimos años se ha promovido el uso de fuentes de energía renovables [2]. La energía fotovoltaica, que transforma la luz solar en electricidad, figura entre estas alternativas.

La adopción de generación fotovoltaica por parte de los habitantes se ve influenciada por múltiples factores técnicos, como el ingreso familiar, el espacio disponible en los techos, condiciones climáticas y niveles de radiación solar. Según [3], aspectos físicos, demográficos, socioeconómicos y de comportamiento también inciden en la decisión de implementar sistemas fotovoltaicos (SFV) en hogares. Esta interacción compleja de variables determina la elección energética y refleja la necesidad de considerar diversos aspectos al fomentar la energía solar residencial.

B. Revisión Literaria

En [4], se identifica y analiza los posibles métodos de difusión de los SFV en techos para la aplicación en diferentes sectores como residencial, comercial, industrial e institucional. También [5], fueron considerados indicadores económicos para ver estimar el costo de la instalación y la minimización del costo de facturación eléctrica de un SFV conectado a la red. Otro indicador considerado son el Indicador social de la calidad del servicio eléctrico [6], puesto se vuelve más confiable en su operación no se presenta cortes de energía eléctrica. También se encuentra el indicador ambiental con respecto a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Asimismo, en [7] se realizó una estimación espacio temporal con lógica difusa para identificar áreas aptas para sistemas fotovoltaicos, considerando factores técnicos como la garantía y fiabilidad del instalador, y aspectos económicos como incentivos estatales y el ahorro energético. Por otro lado, [8] examina la influencia los primeros compradores de SFV en el comportamiento general de los consumidores. Este estudio reconoce la relevancia del comportamiento inicial en la adopción masiva de sistemas fotovoltaicos y cómo esto impacta en las decisiones futuras de otros consumidores.

C. Contribución

La contribución de este trabajo es el uso de la regresión logística para la estimación espacial de las probabilidades de instalación de los SFV domiciliarios considerando factores socioeconómicos. De esta manera, se puede identificar zonas con viviendas que presenten una alta probabilidad para la instalación de SFV. Los tomadores de decisión pueden usar los resultados obtenidos en este trabajo para direccionar de mejor manera sus recursos durante la promoción del uso de los SFV.

II. METODOLOGÍA

La metodología propuesta permite estimar la distribución espacial de la difusión de los sistemas fotovoltaicos domiciliarios usando la regresión logística y considerando factores socioeconómicos.

A. Datos de entrada

Nivel de irradiación

Los datos de irradiación solar en las viviendas se utilizan para determinar si un lugar es adecuado para la instalación de

SFV. De acuerdo con [9], la irradiación solar en el territorio peruano es de 2 a 8 kWh/m² diario, con una media nacional de 5 kWh/m² anual. Esto nos permite considerar la posibilidad de usar los SFV, ya que el valor mínimo para su implementación fotovoltaico es 4 kWh/m². Estos datos se obtienen a través de la aplicación Global Atlas Solar [10].

Material de construcción del techo de la vivienda

El material de construcción adecuado en el techo permite la instalación de los SFV de forma segura, puesto que el techo debe soportar el peso de los paneles solares [11]. Por tanto, se adoptan el siguiente criterio.

Apto: Armado de concreto, planchas de calaminas de cemento.

No apto: Planchas de calaminas de PVC, tejas, caña, estera, triplay y paja.

Área útil en el techo de la vivienda

El espacio en los techos de las viviendas es un factor importante puesto que para la instalación de los paneles fotovoltaico se necesitan contar con un espacio libre necesario [12]. Este espacio libre necesario depende de la potencia máxima que se proyecta instalar. De manera práctica, se asume que el área útil solo será utilizada el 85% de la superficie total del techo de una vivienda, a fin de contar con zonas de tránsito para su respectivo mantenimiento.

El criterio asumido para considerar el espacio utilizable del techo adecuado para la instalación de los paneles es que este sea igual o superior a 50 m².

Conexión a la red eléctrica

La conexión a la red eléctrica ofrece flexibilidad en SFV al hacer opcional el uso de costosas baterías. La inclusión de baterías en un SFV generalmente tona inviable este tipo de soluciones. Por tanto, el criterio adoptado es que la existencia de una conexión a la red de la concesionaria de energía en una condición favorable para el uso de los SFV.

Nivel de ingreso económico del jefe de familia

Esta información es fundamental para analizar la viabilidad de la instalación de SFV en hogares. La evaluación de recursos se enfoca en determinar si cuentan con la capacidad necesaria. Para esto, se han establecido dos categorías de ingresos económicos que permiten clasificar los hogares según su capacidad financiera para adoptar esta tecnología:

- **No apto**
 - Bajo: 782.27 a menos mensual (soles)
 - Medio Bajo: 782.28 - 1024.54 mensual (soles)
 - Medio: 1024.55 - 1509.10 mensual (soles)
- **Apto**
 - Medio Alto: 1509.11 - 2187.47 mensual (soles)
 - Alto: 2187.48 a más mensual (soles)

Nivel de estudio del jefe de familia

El jefe de hogar se esforzará por evaluar y comprender la importancia de los SFV. Esta comprensión se torna esencial, ya que permite tomar decisiones informadas y estratégicas sobre la adquisición, instalación de los SFV en beneficio del hogar.

A continuación, se presenta el grado de estudio del jefe de familia en 2 niveles:

- **Nivel básico:** comprende la formación en educación primaria y secundaria, fundamentales para la comprensión general.
- **Nivel superior:** abarca una amplia gama de formación, desde educación técnica hasta estudios universitarios, maestrías y doctorados, que aportan un mayor conocimiento y perspectiva en la toma de decisiones respecto a los SFV.

Número de integrantes de la familia en las viviendas

Las familias presentan variedad de integrantes en las viviendas que pueden ser muchos o pocos. Al contar con un número mayor integrantes que aporten para la subvención del hogar les permite tener mayor posibilidad de poder financiar el costo de la implementación de los SFV.

Tipo de vivienda familiar

El tipo de vivienda tendrá como propósito conocer si es propia o alquilada. Cabe destacar que aquellos que son dueños de la propiedad tendrán mayores oportunidades de incorporar los SFV puesto que depende de ellos directamente si desean acceder a la instalación de dichos sistemas.

B. Asignación del valor binario de las variables socioeconómicas

La Tabla I muestra los valores binarios asignados a las variables socioeconómicas que influyen en la decisión de los habitantes para instalar los SFV. Esos valores se asignan tomando ciertas características o valores de las variables socioeconómicas consideradas.

TABLA I
VALORES BINARIOS A LAS VARIABLES SOCIOECONÓMICAS

| Variables | Valor Binario | |
|---|--|---|
| | 0 | 1 |
| Tipo de material de construcción del techo en la vivienda | Planchas de calaminas de PVC, Tejas, Caña, Estera, Triplay y Paja. | Armado de concreto, Planchas de calaminas de cemento. |
| Área útil en el techo de las viviendas | Menor a 50m ² | Mayor o igual a 50m ² |
| Conexión a la red eléctrica | Sin conexión a la red | Conexión a la red |
| Nivel de ingreso económico del jefe de familia | Menor a S/1509.11 | Mayor o igual S/1509.11 |
| Nivel de estudio del jefe de familia | Primaria Secundaria | Técnico Superior Universitario |
| Número de integrantes familiar en la vivienda | Menor a 3 integrantes | Mayor o igual a 3 integrantes |
| Tipo de Vivienda familiar | Alquilada | Propia |

C. *Definición del modelo de regresión logística binaria para predecir la adquisición de los SFV*

Regresión logística binaria

La regresión logística binaria es un método estadístico que revela la relación entre variables predictoras y la variable a predecir. Su objetivo principal es identificar qué variables ejercen un impacto significativo en el resultado deseado. Este método es altamente versátil y aplicable en una amplia gama de campos, ya que permite determinar qué factores tienen una influencia más destacada en el resultado buscado. La fórmula de la regresión logística binaria se expresa de la siguiente manera:

$$\rho(x) = \frac{1}{1+e^{-f(x)}} \quad (1)$$

donde:

$$f(X) = \beta_0 + \beta_1 * x_1 + \beta_2 * x_2 + \dots + \beta_n * x_n$$

$\rho(x)$: Variable a predecir

$x_1 \dots x_n$: Variables predictoras

β_0 : Constante de la ecuación

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$: Coeficiente de las variables predictoras

En la metodología propuesta, la regresión logística se usa para el cálculo de las probabilidades de instalación de los SFV por parte de los habitantes. Así, se definieron las siguientes variables del modelo de la regresión logística Binaria:

$\rho(x)$: Instalación del sistema fotovoltaico

x_1 : Tipo de material de construcción en el techo

x_2 : Área útil en el techo

x_3 : Conexión a la red eléctrica

x_4 : Nivel de ingreso económico del jefe de familia

x_5 : Nivel de estudio del jefe familia

x_6 : Número de integrantes aportantes en la vivienda

x_7 : Tipo de vivienda familiar

β_0 : Constante

β_1 : Coeficiente de material de construcción en el techo

β_2 : Coeficiente de área útil en el techo

β_3 : Coeficiente de conexión a la red eléctrica

β_4 : Coeficiente de nivel de ingreso económico del jefe de familia

β_5 : Coeficiente de nivel de estudio del jefe familia

β_6 : Coeficiente de número de integrantes aportantes en la vivienda

β_7 : Coeficiente de tipo de vivienda familiar

Cálculo de los parámetros de la Regresión del Modelo Logístico Binario

Para el cálculo de la constante (β_0) y coeficiente ($\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7$) de cada variable predictora se utilizó el software estadístico IBM SPSS Statistics 25, donde se insertó los parámetros de la variable a predecir $\rho(x)$ y las variables predictoras ($x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$). Para ello se tomó el 60% del total de las viviendas.

Estimación de la probabilidad de instalación de los sistemas fotovoltaicos de los habitantes

Para estimar la variable a predecir ($\rho(x)$), se utilizó la muestra restante de las viviendas, esto es el 40% de las viviendas restantes de la población de estudio. Luego se aplicó la ecuación (1) de la Regresión Logística Binaria a cada una de las viviendas.

Los resultados calculados de la variable predictora se comparan con los valores de campo para medir el nivel de precisión de las estimaciones realizadas por la regresión logística binaria.

D. *Obtención de la distribución espacial de la difusión de los sistemas fotovoltaicos*

A partir de los resultados se identificó y visualizó las viviendas con una mayor probabilidad de instalar sistemas fotovoltaicos en sus hogares. Este enfoque permitirá analizar la influencia de las variables seleccionadas en la difusión de los sistemas fotovoltaicos a nivel espacial. Para ello se utilizó una de las plataformas más usadas para realizar una distribución espacial que es el QGIS. Según [13], es una herramienta que permite graficas avanzada y utiliza como base de información características de punto de localización geográficos que permite analizar datos estadísticos para la representación de distribución espacial.

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

La metodología propuesta se aplicó al A.H. Cueva de los tallos, ubicado en el distrito de Ventanilla, Perú. En este A.H., el nivel de irradiación horizontal global es de 4.711 kWh/ m² en promedio diario y es el mismo para todos los domicilios.

A. *Parámetros de la Regresión del Modelo Logístico Binario*

Se tomo el 60% de la muestra total del A.H. Cueva de los Tallos dando como resultados el siguiente valor de la constante y los coeficientes de las variables predictoras.

TABLA II
VALORES DE LOS PARÁMETROS DE LA REGRESIÓN LOGÍSTICA BINARIA

| VARIABLES EN LA ECUACIÓN | β |
|--|---------|
| Tipo de material del techo | 4,647 |
| Área útil del techo | 22,787 |
| Conexión a la red | -19,283 |
| Nivel de ingreso económico del jefe de familia | 4,949 |
| Nivel de estudio del jefe | -3,971 |
| Nº Integrantes aportantes | ,801 |
| Tipo de casa | -,637 |
| Constante | -6,231 |

B. Probabilidad de instalación de los sistemas fotovoltaicos de los habitantes

Al emplear el método de Regresión Logística Binaria, se lograron calcular las probabilidades específicas de instalación de sistemas fotovoltaicos en cada vivienda,

ofreciendo así un panorama detallado de las posibles instalaciones. Estos resultados son mostrados en la Tabla III.

TABLA III
PROBABILIDAD DE INSTALACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS EN LAS VIVIENDAS DEL A.H. CUEVA DE LOS TALLOS

| Viviendas | Material de techo | Área útil de techo | Suministro Eléctrico | Ingreso económico del jefe de familia | Nivel de estudio del jefe familia | N° de aportantes en la vivienda | Tipo de casa | Instalación | Probabilidad de instalación de sistemas fotovoltaicos | Instalación de sistemas fotovoltaicos |
|-----------|-------------------|--------------------|----------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|--------------|-------------|---|---------------------------------------|
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | No | 0.0000 | 0.00% |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Si | 0.9553 | 95.53% |
| 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | No | 0.0614 | 6.14% |
| 4 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | Si | 0.7830 | 78.30% |
| 5 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | Si | 0.8893 | 88.93% |
| 6 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | No | 0.0000 | 0.00% |
| 7 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | No | 0.0716 | 7.16% |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Si | 0.9553 | 95.53% |
| 9 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | No | 0.7830 | 78.30% |
| 10 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | No | 0.1482 | 14.82% |
| 11 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | No | 0.1701 | 17.01% |
| 12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Si | 0.9553 | 95.53% |
| 13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | Si | 0.9758 | 97.58% |
| 14 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | Si | 0.9980 | 99.80% |
| 15 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | No | 0.0000 | 0.00% |
| 16 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | No | 0.2793 | 27.93% |
| 17 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | Si | 0.7830 | 78.30% |
| 18 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | Si | 0.9758 | 97.58% |
| 19 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | Si | 0.9553 | 95.53% |
| 20 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | Si | 0.9980 | 99.80% |
| 21 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | No | 0.1701 | 17.01% |
| 22 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | Si | 0.9056 | 90.56% |
| 23 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | Si | 0.9022 | 90.22% |
| 24 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | No | 0.0000 | 0.00% |
| 25 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | Si | 0.7830 | 78.30% |

C. Distribución espacial de la difusión de los sistemas fotovoltaicos

Se obtuvo la distribución espacial de la difusión de los sistemas fotovoltaicos, empleando los resultados obtenidos a

través del método estadístico de regresión logística binaria. El propósito es identificar y visualizar las viviendas con una mayor probabilidad de instalar sistemas fotovoltaicos en sus hogares como se presenta en la Figura 1.



Fig. 1. Distribución espacial de la probabilidad de instalación de SFV en las viviendas del A.H. Cueva los Tallos.

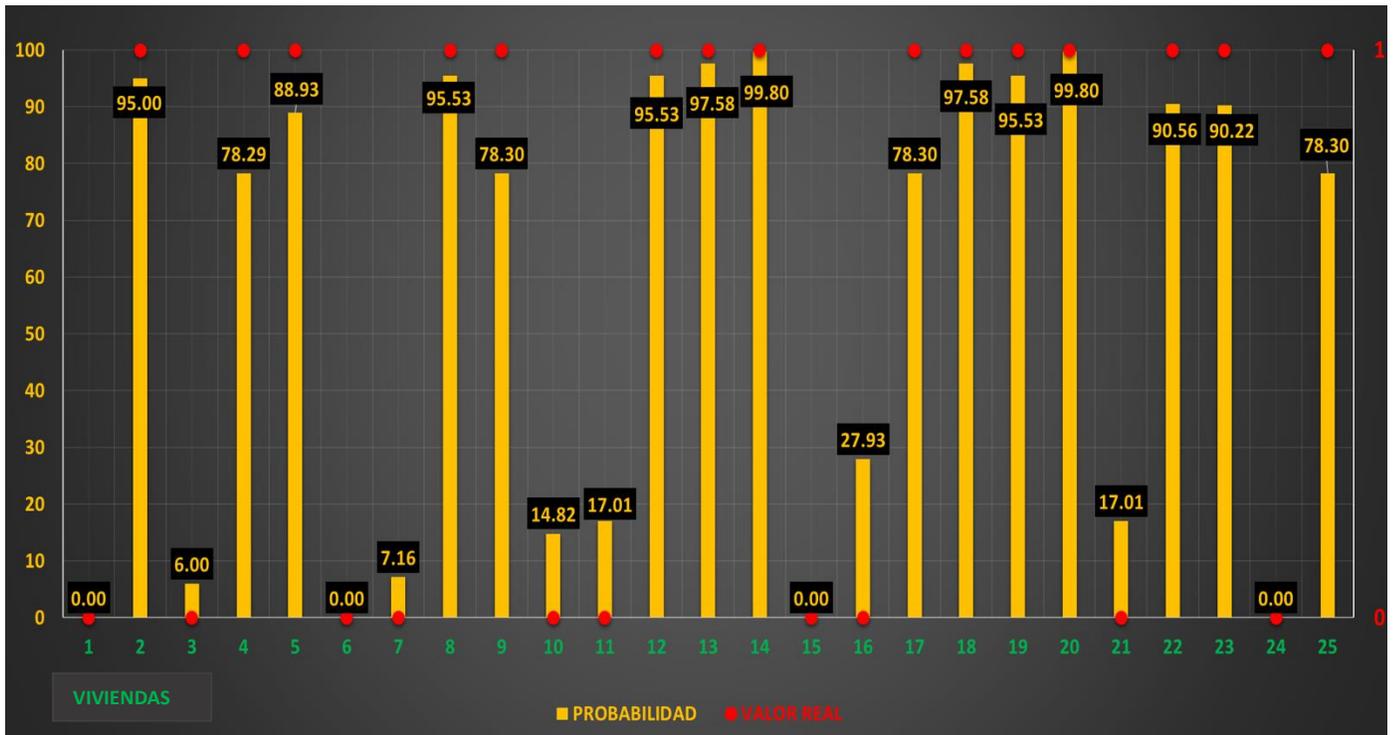


Fig. 2. Probabilidad de instalación de los sistemas fotovoltaicos en las viviendas del A.H. Cueva los Tallos.

La Figura 2 muestra la comparación entre los valores de probabilidad calculados a partir de regresión logística en el 40% de la muestra analizada y el valor real de campo. Las probabilidades se muestran usando barras amarillas mientras que el valor real usando puntos rojos. Se observa que la probabilidad de instalación obtenida presenta valores próximos al valor real de campo. Es decir que cuando el usuario no desea instalar el sistema fotovoltaico (valor real cero), la probabilidad calculada de instalación tiende a tener valores bajos (menor a 0.28). Por el contrario, cuando el usuario desea instalar el sistema fotovoltaico (el valor real es 1), la probabilidad tiende a ser un valor alto (mayor a 0.78).

Por tanto, se evidencia que la regresión logística binaria usada junto con las variables socioeconómicas consideradas ofrece buenos resultados de estimación. Esto es importante para los tomadores de decisión, pues pueden usar la metodología presentada para identificar zonas con alto potencial de difusión de los sistemas fotovoltaicos (zonas con altas probabilidades de instalación). De esta manera podrán direccionar mejor los recursos que tienen a su cargo para impulsar el uso de fuentes renovables de energía.

IV. CONCLUSIONES

En este estudio, se evaluó la distribución espacial de la adopción de sistemas fotovoltaicos (SFV) a partir del cálculo de probabilidades de instalación utilizando la regresión logística binaria y factores socioeconómicos del A.H. Cueva de los Tallos. Los factores socioeconómicos empleados están respaldados por la literatura especializada [14-20].

Los hallazgos revelaron que la combinación de la regresión logística binaria y los factores socioeconómicos proporciona estimaciones sólidas. La visualización de la distribución espacial de la adopción de SFV permite identificar áreas con un alto potencial para el desarrollo de estos sistemas. Este conocimiento resulta invaluable para los tomadores de decisiones a nivel local y gubernamental, ya que les brinda una guía precisa para dirigir eficazmente los presupuestos asignados.

Además, estos resultados tienen un impacto significativo en la industria, ya que ofrecen información clave para identificar mercados potenciales donde la compra y venta de componentes de sistemas fotovoltaicos pueden ser más viables y exitosas.

REFERENCIAS

[1] E. Phiri, A. Kasambara, P. N. Rowley and R. E. Blanchard, "Análisis de las necesidades de agua y energía: hacia el bombeo de agua con energía solar fotovoltaica en las zonas rurales de Malawi", *J Sustain Res*, vol. 2, no. 36, Abril 2020.

[2] N. Jayaweera, C. L. Jayasinghe and S. N. Weerasinghe, "Factores locales que afectan la difusión espacial de la adopción residencial fotovoltaica en Sri Lanka", *Energy Policy*, vol. 119, pp. 59 a 67, Agosto 2018.

[3] A. Hidayatno, A. D. Setiawan, I. M. Wikananda Supartha, A. O. Moeis, I. Rahman and E. Widiono, "Investigación de políticas para mejorar la

adopción de energía fotovoltaica en los techos domésticos en Indonesia", *Renew. Energía*, vol. 156, pp. 731–742, Agosto 2020.

[4] D. S. Schiera, F. D. Minuto, L. Bottaccioli, R. Borchiellini and A. Lanzini, "Análisis de la difusión fotovoltaica en azoteas en edificios comunitarios de energía mediante una novedosa plataforma de cosimulación de modelado basada en GIS y agentes". *IEEE*, vol.7, pp.93404 – 93432, Julio 2019.

[5] Y. T. Wassie and M. S. Adaramola, "Impactos socioeconómicos y ambientales de la electrificación rural con sistemas solares fotovoltaicos: evidencia del sur de Etiopía", *Energía para el Desarrollo Sostenible*, vol. 60, pp. 52-66, Febrero 2021.

[6] G. Mohamed, C. Bilal, K. Dragan, "Metodología global para la evaluación del mantenimiento de las empresas eléctricas basada en la toma de decisiones informada sobre los riesgos", *Sustainability*, 13,9091, Agosto 2021.

[7] D. Marcochi de Melo, J. Villavicencio, P.T. Asano and J.D. Melo, "Estimación espaciotemporal de adoptantes de sistemas fotovoltaicos mediante lógica difusa", *Renew. Energía*, vol. 181, pp. 1188–1196, Enero 2022.

[8] A. Borghesi, and M. Milano, "Fusión del comportamiento observado y autoinformado en la simulación basada en agentes: un estudio de caso sobre la adopción fotovoltaica", *Ciencias Aplicadas* vol. 9, no 10, Mayo 2019.

[9] S.M. Aarakit, J.M. Ntayi, F. Wasswa, M.S. Adaramola and V.F. Ssenono, "Adopción de sistemas solares fotovoltaicos en los hogares: Evidencia de Uganda", *J. Clean. Pinchar.*, vol. 329, no.12, Diciembre 2021.

[10] Global Solar Atlas, "Global Solar Atlas," [En línea]. Disponible en: <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.523088,8.173828,3>.

[11] D. Rúa, M. Castaneda, S. Zapata and I. Dyner, "Simulación de la difusión eficiente de energía fotovoltaica en Bogotá: un enfoque del metabolismo urbano", *Energy (Oxf.)*, vol. 195, no.117048, Marzo 2020.

[12] VM Phap, NT Thu Huong, PT Hanh, P. Van Duy y D. Van Binh, "Evaluación del potencial técnico de energía solar en techos en la ciudad de Hanoi, Vietnam", *J. Build. Ing.*, vol. 32, no. 101528, Noviembre 2020.

[13] A. Barbon, C. Bayon, L. Bayon, "Una metodología para un diseño óptimo de plantas de energía fotovoltaica montadas en suelo" *Energía aplicada*, vol. 314, Mayo de 2022.

[14] S. José de Castro Vieira and L.G. Tapia, "El impacto económico en las tarifas residenciales asociado con la expansión de los generadores solares fotovoltaicos conectados a la red en Brasil", *Renovar. Energía*, vol. 159, pp. 1084–1098, Octubre 2020.

[15] Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), "Estadísticas Básicas de Energía 2017 - Capítulo 4: Energía Renovable", [En línea]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1756/cap04.pdf.

[16] Panel Solar Peru (2023). [Online]. Kit Solar Peru 4000WH/DIA Uso Diario: Refrigeradora Lg Smart Inverter, TV, DVD, Laptop, Carga Celular, Licuadora. ONDA PURA Perú - Panel Solar Peru.

[17] Gobierno Regional de Piura, "Plan de Desarrollo Concertado de la Región Piura 2013-2021", [En línea]. Disponible en: <http://siar.regionpiura.gob.pe/documentos/repositorio/3338.pdf>.

[18] M. Kurata, N. Matsui, Y. Ikemoto and H. Tsuboi, "¿Los determinantes de la adopción de sistemas solares domésticos difieren entre los hogares y las microempresas? Evidencia de las zonas rurales de Bangladesh", *Renew. Energía*, vol. 129, pp. 309–316, Diciembre 2018.

[19] Art Solar Engenharia (2023). [Online]. <https://www.artsolarengenharia.com.br/energiasolar.html>

[20] Panel Solar Peru (2023). [Online]. Kit Solar Peru 4000WH/DIA Uso Diario: Refrigeradora Lg Smart Inverter, TV, DVD, Laptop, Carga Celular, Licuadora. ONDA PURA Perú - Panel Solar Peru.