

CELDAS SOLARES COMO PUENTE ENTRE DESARROLLO SOSTENIBLE Y JUSTICIA ENERGÉTICA: INNOVACIÓN PARA COMUNIDADES CON ALTA RADIACIÓN SOLAR

SOLAR CELL AS A BRIDGE BETWEEN SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND ENERGY JUSTICE: INNOVATION FOR COMMUNITIES WITH HIGH SOLAR RADIATION

Bruno Guadarrama Rincón¹, Fabiola Colmenero Fonseca^{2,4}, Lauren Yolanda Gómez Zamorano³, Amparo Borrell⁴

Mechatronics Engineering, Universidad La Salle¹, Universidad de La Salle México. Office of the Vice-Rector for Research. Department of Architecture, Design and Communication. ². Research Prof. Universidad Autónoma de Nuevo León. Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Doctoral Program in Materials Engineering³. University Institute of Materials Technology. Universitat Politècnica de València ⁴

INTRODUCCIÓN/ INTRODUCTION

La pobreza energética afecta a millones de personas en el mundo, especialmente en comunidades de países en desarrollo, limitando el acceso a recursos básicos y perpetuando desigualdades sociales. Curiosamente, muchas de estas regiones poseen altos niveles de radiación solar, un recurso poco aprovechado hasta ahora. Este estudio propone un enfoque integral para abordar esta problemática mediante la implementación de celdas solares innovadoras, diseñadas para maximizar el uso de la energía solar en comunidades vulnerables. Al integrar tecnología adaptativa con modelos de gobernanza eficiente, se busca no solo mejorar la calidad de vida en estas zonas, sino también demostrar que las soluciones renovables pueden ser herramientas clave para promover la justicia energética y el desarrollo sostenible. *Energy poverty affects millions of people around the world, especially in communities of less developed countries, limiting access to basic resources and perpetuating social inequalities. Curiously, many of these regions have high levels of solar radiation, an underutilized resource until now. This study proposes an integral focus to abord this problem through the implementation of innovative solar cells, designed to maximize the use of the solar energy in vulnerable communities.*



PLAN EXPERIMENTAL / EXPERIMENTAL PLAN

Materiales

Este estudio empleó un enfoque metodológico mixto que combina análisis cualitativos y cuantitativos para evaluar el impacto de celdas solares innovadoras en la reducción de la pobreza energética en comunidades con alta radiación solar.

Diseño de las celdas solares

Se desarrollaron prototipos de celdas solares utilizando materiales ecológicos y de bajo costo, optimizados para su óptima implementación dentro de las comunidades, con un diseño que permite tener sistemas modulares de dimensiones reducidas, adaptables a las necesidades específicas de cada vivienda, logrando ser fácilmente instalados en cualquier tipo de superficie, siendo sistemas escalables para las diferentes demandas de cada vivienda.

Estas nuevas celdas fotovoltaicas utilizan semiconductores alternativos a los convencionales, reduciendo costos y mejorando el rendimiento, priorizando la flexibilidad y la modularidad, lo que facilita su transporte a comunidades remotas, simplifica la instalación sin necesidad de técnicos especializados, y reduce los costos de mantenimiento al permitir intervenciones puntuales sin afectar el sistema completo, facilitando la recopilación de datos sobre su rendimiento operativo para evaluar su efectividad y realizar los ajustes necesarios para su maximización.

Selección de comunidades

Se seleccionaron 10 comunidades en América Latina que cumplían con una alta incidencia solar, un bajo índice de electrificación, ser categorizadas con requerimiento de extensión de red por la Secretaría de Energía (SENER) y contar con una Potencia específica fotovoltaica superior a 1600 kWh/kWp y radiación directa mayor a 1500 kWh/m². Seleccionando así las 10 comunidades mostradas en la Tabla 1, fueron priorizadas por su ubicación en áreas con alta radiación solar, presentando las condiciones ideales para implementar soluciones fotovoltaicas.

Análisis Cualitativo

Se realizaron entrevistas semiestructuradas y grupos focales con líderes comunitarios, usuarios potenciales y autoridades locales para identificar barreras, necesidades y percepciones relacionadas con el acceso energético y el uso de tecnologías renovables.

Las principales barreras identificadas incluyen:

- Altos costos iniciales al requerir una inversión significativa para la adquisición, transporte e instalación de paneles solares.
- Mantenimiento complejo: El seguimiento a largo plazo, la capacitación comunitaria y la disponibilidad de refacciones son retos en zonas de difícil acceso.
- Dispersión geográfica: La lejanía de las comunidades dificulta el transporte de equipos y personal técnico.

Sin embargo, se observó una alta aceptación por parte de las comunidades y autoridades hacia las energías renovables, quienes valoran su potencial para mejorar la calidad de vida y proporcionar servicios básicos.

Análisis Cuantitativo

Se recopilaron datos socioeconómicos y energéticos iniciales para establecer una línea base que permitirá medir el impacto de las celdas solares en indicadores clave como acceso a energía, calidad de vida y desarrollo comunitario. A continuación, en la Tabla 2. se resumen los datos recopilados de las comunidades analizadas:



Imagen 2. Comunidad rural con instalaciones fotovoltaicas

Image 2. Rural community with photovoltaic installations

Localidad	Amatán Cerro Brujo	Fortunata	Ranchería Sahueachi	Loma Toro	La Sanguinaria	Arroyo Carrizo	San Miguel Chongos	Loma Cerezal	Loma de Conejo	Santa Cruz Yagavila
Habitantes	110	4	99	51	26	81	521	64	60	608
Población analfabeta	15.45%	25%	47.47%	15.69%	11.54%	37.04%	9.21%	9.38%	1.67%	0.99%
Grado de escolaridad	2.71	2.75	1.79	5.03	4.53	3.2	6.43	6.47	6.11	7.18
Población ocupada laboralmente	26.36%	75%	0.0%	29.41%	26.92%	0.0%	22.26%	18.75%	38.33%	56.91%
Número de viviendas particulares habitadas	21	3	21	14	5	15	119	15	15	179
Viviendas con electricidad	14.29%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	85.71%	86.67%	100.0%	99.44%
Viviendas con radio	14.29%	0.0%	0.0%	28.57%	20.0%	20.0%	52.94%	60.0%	46.67%	53.07%
Viviendas con televisión	0.0%	0.0%	0.0%	14.29%	20.0%	0.0%	19.33%	60.0%	40%	44.69%
Viviendas con refrigerador	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	28.57%	20.0%	40.0%	36.31%
Viviendas con lavadora	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	10.92%	26.67%	6.67%	10.61%
Viviendas con computadora personal	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.84%	6.67%	0.0%	4.47%
Viviendas con teléfono celular	4.76%	66.67%	0.0%	14.29%	60.0%	0.0%	28.57%	73.33%	53.33%	34.08%
Viviendas con internet	4.76%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	25.21%	6.67%	6.67%	11.17%

Tabla 2. Datos socioeconómicos y de acceso energético de las comunidades seleccionadas

Table 2. Socioeconomic and energy access data of the selected communities

Imagen 4. Mejora de acceso a energía en comunidades

Image 4. Energy access improvement in communities

RESULTADOS / RESULTS

1. Desempeño técnico de las celdas solares: lograron una eficiencia promedio del 18% en condiciones de alta radiación solar ($\geq 5 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$), reduciendo gastos de producción en 25%, facilitando su implementación en comunidades de bajos recursos.

2. Impacto en el acceso energético: 10 comunidades piloto, el acceso a la energía básica aumentó un 40% en promedio, mejorando la iluminación.

3. Desarrollo comunitario: Mejora del 30% en indicadores clave de desarrollo social.

4. Aceptación comunitaria: Más del 85% de los participantes consideraron que las celdas solares eran adecuadas a sus necesidades, destacando su facilidad de uso y mantenimiento.

5. Relación entre gobernanza y resultados:

Las comunidades con estructuras de gobernanza, con un 25% más de hogares beneficiados y una mejora adicional del 15% en los indicadores de desarrollo sostenible en comparación con las comunidades con gobernanza débil. 1. Technical performance of the solar cells: they achieved an average efficiency of 18% in conditions of high solar radiation ($\geq 5 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$), reducing production costs by 25%, facilitating their implementation in low-income communities.

2. Impact on energy access: 10 pilot communities, access to basic energy increased by 40% on average, improving lighting.

3. Community development: 30% improvement in key social development indicators

4. Community acceptance: More than 85% of participants felt that solar cells were suitable for their needs, highlighting their ease of use and maintenance.

5. Relationship between governance and results: Communities with governance structures, with 25% more households benefiting and an additional 15% improvement in sustainable development indicators compared to communities with weak governance.

OBJETIVOS

Reducir la pobreza energética en comunidades vulnerables con alta radiación solar mediante el diseño, implementación y evaluación de celdas solares innovadoras. La propuesta busca impulsar el desarrollo socioeconómico sostenible a través de la integración de tecnología adaptativa, gobernanza local eficiente y principios ecológicos.



Imagen 1. Propuesta instalación fotovoltaica
Image 1. Photovoltaic installation proposal

Materials

This study used a mixed methodological focus which combines qualitative and quantitative analysis to evaluate the impact of innovating solar cells in the reduction of energy poverty in high solar radiation communities.

Solar cell design

Prototypes of solar cells were developed using ecological and low-cost materials, optimized for optimal implementation within the communities, with a design that allows for modular systems of reduced dimensions, adaptable to the specific needs of each home, being easily installed on any type of surface, being scalable systems for the different demands of each home.

These new photovoltaic cells use alternative semiconductors to conventional ones, reducing costs and improving performance, prioritizing flexibility and modularity, which facilitates their transport to remote communities, simplifies installation without the need for specialized technicians,



Imagen 3. Mapa del Potencial Específico Fotovoltaico de México
Image 3. Mexico Photovoltaic Power Potential Map

Estado	Localidad seleccionada	Potencia Específica Fotovoltaica [kWh/kWp]	Radiación Directa [kWh/m ²]
Chiapas	Amatán Cerro Brujo	1500.5	1446.1
Chihuahua	Fortunata	1879.5	2557.2
	Ranchería Sahueachi	1882.3	2602.4
Guerrero	Loma Toro	1717	1869.1
	La Sanguinaria	1637	1658.5
	Arroyo Carrizo	1779.3	2016.6
Oaxaca	San Miguel Chongos	1723.2	2091.2
	Loma Cerezal	1815.9	2176.4
	Loma de Conejo	1889.9	2387.5
	Santa Cruz Yagavila	1542.5	1633.3

Tabla 1. Potencia específica fotovoltaica y radiación directa de las comunidades seleccionadas

Table 1. Photovoltaic power potential and direct radiation of the selected communities

CONCLUSIONES/ CONCLUSIONS

1. Celdas solares como solución eficaz:

Las celdas solares demostraron ser una solución eficiente, económica y sostenible para mitigar la pobreza energética en comunidades vulnerables con alta radiación solar. Su diseño adaptable y bajo costo las posiciona como una tecnología accesible en contextos de bajos recursos.

2. Impacto en la calidad de vida:

La implementación de las celdas solares mejoró significativamente la calidad de vida de las comunidades, facilitando el acceso a servicios energéticos básicos que impulsaron actividades educativas, económicas y sociales.

3. Desarrollo comunitario:

Mejora del 30% en indicadores clave de desarrollo social, como asistencia escolar, actividades productivas y percepción de seguridad nocturna.

4. Aceptación comunitaria:

Más del 85% de los participantes consideraron que las celdas solares eran adecuadas a sus necesidades, destacando su facilidad de uso y mantenimiento.

5. Relación entre gobernanza y resultados:

Las comunidades con estructuras de gobernanza más sólidas integraron en mayor medida las celdas solares, con un 25% más de hogares beneficiados y una mejora adicional del 15% en los indicadores de desarrollo sostenible en comparación con las comunidades con gobernanza débil.

Economical and sustainable, solar cells improved the quality of life in communities with high solar radiation, increasing school indicators such as school attendance and perception of safety by 30%. More than 85% of users highlighted its ease of use. Communities with better governance achieved greater coverage and 15% more progress in sustainability.



REFERENCIAS/ REFERENCES

- Global Solar Atlas. (n.d.). Mexico: Solar resource map. Recuperado de <https://globalsolaratlas.info/download/mexico>
- Secretaría de Energía (SENER). (2021). Informe sobre electrificación rural e integrada en