

Energía solar para el desarrollo educativo rural en México

“Energía del sol, poder para aprender.”

190169 Kytzia Jehieli Quintero Del Valle

186872 Luis Antonio Osuna Saucedo

189356 Alvaro Isaías Álvarez Álvarez

188749 Ian Emmanuel Maldonado Téllez



Introducción:

En México, miles de escuelas rurales se ven afectadas por graves limitaciones energéticas. Unas carecen de electricidad y otras dependen de fuentes eléctricas contaminantes. Esta situación no solo dificulta el uso de herramientas tecnológicas, sino que también afecta las instalaciones (la iluminación, la ventilación, la conservación de materiales educativos, etc.). La falta de energía en estas escuelas limita las oportunidades de aprendizaje y refleja la gran desigualdad social y tecnológica entre las zonas urbanas y rurales de México.

Garantizar el acceso a energía limpia y confiable es esencial para mejorar la calidad educativa de estas escuelas y el bienestar de las comunidades rurales. La instalación de paneles solares representa una alternativa bastante viable, sostenible y de bajo mantenimiento que puede proporcionar autonomía energética a estas escuelas. Además, este proyecto contribuye al cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 7, que busca asegurar el acceso universal a energía asequible, segura y moderna, al tiempo que promueve la educación y la equidad social.

Nuestro objetivo es implementar un sistema de energía renovable mediante paneles solares en escuelas rurales de México, con el fin de mejorar las condiciones educativas y fomentar la sostenibilidad ambiental.

Objetivos específicos:

- Analizar las carencias energéticas de las escuelas rurales seleccionadas.

- Diseñar un sistema de paneles solares adaptados al entorno de las zonas y a la demanda energética.
- Evaluar el impacto educativo, ambiental y social del uso de energía solar en las comunidades beneficiadas.
- Promover la concientización sobre el uso de energías limpias entre alumnos y docentes.

Pregunta de investigación:

¿Cómo puede la implementación de paneles solares mejorar las condiciones educativas y promover la sostenibilidad en las escuelas rurales de México?

Nuestra hipótesis es la siguiente: La instalación de paneles solares en escuelas rurales proporcionará energía limpia y confiable. Esto permitirá el uso de tecnología educativa, mejorando directamente la enseñanza y el aprendizaje. Además, la escuela ahorrará en gastos de electricidad o combustible, y los estudiantes tendrán acceso a recursos más equitativos, reduciendo la brecha con las escuelas urbanas.

Este estudio se centra específicamente en escuelas rurales de México que carecen de acceso a la red eléctrica o presentan un suministro energético deficiente e intermitente. La investigación se limita al diseño técnico y análisis de factibilidad de un sistema de paneles solares adaptado a las condiciones particulares de estas comunidades.

El alcance abarca el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, considerando las cargas energéticas básicas de una escuela rural y las condiciones climáticas de la región. Se tomarán en cuenta aspectos de viabilidad económica, priorizando soluciones asequibles y de mantenimiento accesible para las comunidades. Sin embargo, el estudio no incluye la ejecución física del proyecto, ni los procesos de instalación o puesta en marcha de los sistemas solares. Tampoco contempla la

evaluación de impacto posterior a una posible implementación, ya que se trata específicamente de una fase de diseño y análisis preliminar.

II. Marco teórico

2.1 Energías renovables: concepto y tipos

Las energías renovables, son aquellas energías derivadas de fuentes naturales que tienden a reponerse más rápido de lo que se consumen, por ende, pueden considerarse como inagotables; caso contrario a energías no renovables. Asimismo, las energías renovables se consideran como energías verdes, puesto que producen menos emisiones de carbono que otras maneras de obtención de energía. Las principales energías renovables son la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, oceánica, biomasa y solar, Cada una obtenida a través de fuentes naturales, lo que hace más accesible su obtención en lugares remotos (ONU, s.f.).

2.2 La energía solar: características y funcionamiento

La energía solar es la más abundante y asequible de las energías renovables, la cual puede tener diferentes usos, pues puede utilizarse como calor, refrigeración, luz natural, electricidad e incluso combustible, de este modo, la forma principal de obtención es mediante paneles solares cuyo precio ha disminuido considerablemente en los últimos años, aunque su portabilidad y practicidad son una gran ventaja para llegar a comunidades desfavorecidas o de difícil acceso (ONU, s.f.).

2.3 Los paneles solares: componentes y eficiencia

Los paneles solares son dispositivos para transformar la energía lumínica del Sol en energía eléctrica que puede aprovecharse fácilmente. Dichos paneles están compuestos por celdas solares individuales hechas de materiales semiconductores como el silicio, que permite el mejor aprovechamiento de la energía solar. Pues al incidir la luz solar sobre dichas celdas se genera un flujo de electrones sobre su superficie que produce energía eléctrica.

En cuanto a eficiencia, la vida útil de un panel solar promedio es de 30 años, añadiendo que fue la única energía primaria con crecimiento en 2024, aumentando un 88% y alcanzando los 18.6 GW (EMMI, 2025).

2.4 Situación energética en las zonas rurales de México

Desde los años 2000, la cobertura eléctrica llegó al 96,6 % en México. Sin embargo, suministrar energía eléctrica a alrededor de 3,5 millones de personas que aún no tenían acceso es una tarea particularmente difícil. Dicha situación se debe al difícil acceso a dichas comunidades, de las cuales el 60% son indígenas, donde incluso no existe los servicios básicos como drenaje, agua potable, telecomunicación o servicios de salud. Y se prevé que dado el crecimiento demográfico, las personas sin acceso a energía eléctrica aumentaría en 20 % en los siguientes 10 años, siendo una cuestión de gran importancia (Grupo Banco Mundial, 2017).

2.5 Relación entre energía y calidad educativa

De este modo, existe una gran brecha digital debido a la falta de acceso a la electricidad, dicha brecha sólo se vuelve más grande en un mundo que está mayoritariamente conectado a servicios dependientes de la electricidad como el internet, quien es una gran herramienta para la búsqueda de materiales educativos, que facilitan en gran manera el aprendizaje. Así pues, al ni

quiera tener acceso a luz eléctrica la calidad educativa desciende drásticamente, ya que no se cuentan con los conocimientos del momento.

III. Metodología

3.1 Tipo de Investigación

Esta es una investigación de tipo aplicada, combinando elementos cuantitativos y cualitativos para así poder obtener una comprensión integral del impacto de la implementación de paneles solares en escuelas rurales. Desde una perspectiva cuantitativa, se recopilarán datos numéricos sobre la eficiencia energética, la reducción de costos y el rendimiento de los paneles solares (estos datos permitirán realizar análisis estadísticos y comparaciones objetivas). Cualitativamente, se explorarán las experiencias y percepciones de los estudiantes, maestros y la comunidad en general con respecto al acceso a una fuente de energía confiable y sostenible.

3.2 Diseño y Enfoque Metodológico

El diseño de la investigación es de tipo cuasiexperimental, con un enfoque mixto.

Se seleccionarán escuelas rurales que carecen de acceso a una fuente de energía y se instalarán sistemas de paneles solares. Antes de la instalación, se realizará una evaluación inicial para establecer una línea base de datos sobre el rendimiento académico, la asistencia escolar, el uso de recursos educativos y la percepción de la comunidad sobre la calidad de la educación. Después de la instalación de los paneles solares, se realizará un seguimiento continuo y evaluaciones periódicas para medir los cambios en estas variables. El enfoque metodológico se basa en la teoría del cambio social, que busca comprender cómo una intervención específica (en este caso, la provisión de energía solar) puede generar cambios positivos en el sistema educativo y en la calidad de vida de la comunidad.

3.3 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

Para la recolección de datos, se utilizarán las siguientes técnicas e instrumentos:

1. **Encuestas:** Se aplicarán encuestas a estudiantes, maestros y padres de familia para recopilar información sobre sus experiencias, percepciones y expectativas con respecto al acceso a la energía solar.
2. **Entrevistas semiestructuradas:** Se realizarán entrevistas a profundidad con directores de escuela, líderes comunitarios y expertos en energía renovable para obtener información detallada sobre los desafíos y oportunidades de la implementación de paneles solares en escuelas rurales.
3. **Observación participante:** Se realizará observación participante en las escuelas para documentar el uso de la energía solar, el impacto en las actividades escolares y la participación de la comunidad en el proyecto.
4. **Análisis documental:** Se analizarán documentos relevantes, como registros de asistencia escolar, calificaciones, informes de consumo de energía y planes de desarrollo comunitario, para obtener datos cuantitativos y cualitativos sobre el impacto del proyecto.

3.4 Población y Muestra

La población objetivo de esta investigación son las escuelas rurales ubicadas en zonas geográficas específicas que carecen de acceso a una fuente de energía confiable. La muestra estará compuesta por un número representativo de escuelas seleccionadas al azar, teniendo en cuenta factores como el tamaño de la escuela, la ubicación geográfica y el nivel socioeconómico de la comunidad. Se buscará incluir escuelas con diferentes características para garantizar la generalización de los resultados.

3.5 Procedimiento para la Implementación del Proyecto

Se llevará a cabo en las siguientes etapas:

Fase de planificación: Se realizará una evaluación de las necesidades energéticas de las escuelas seleccionadas, se diseñará un sistema de paneles solares adecuado para cada escuela y se obtendrán los permisos y autorizaciones necesarios.

Fase de instalación: Se instalarán los paneles solares en las escuelas, se capacitará al personal escolar en el uso y mantenimiento del sistema y se establecerá un sistema de monitoreo para garantizar el rendimiento de los paneles.

Fase de seguimiento y evaluación: Se realizará un seguimiento continuo del rendimiento de los paneles solares, se recopilarán datos sobre el impacto del proyecto en el rendimiento académico, la asistencia escolar y la calidad de vida de la comunidad, y se realizarán ajustes y mejoras según sea necesario.

Fase de difusión: Se difundirán los resultados de la investigación a través de informes, presentaciones y publicaciones académicas, con el objetivo de promover la adopción de soluciones de energía renovable en escuelas rurales y contribuir al desarrollo sostenible de las comunidades.

IV. Propuesta de solución

4.1 Descripción del sistema de paneles solares

El sistema propuesto consiste en un conjunto de paneles solares fotovoltaicos dimensionados especialmente para cubrir las demandas energéticas básicas de escuelas rurales mexicanas. Estos paneles convierten la radiación solar directa en electricidad mediante semiconductores tipo silicio que generan corriente continua. Para optimizar la autonomía energética, el sistema incluye baterías de ciclo profundo, encargadas de almacenar energía para su uso durante la noche o en condiciones de baja radiación. Además, se integra un inversor que transforma la corriente continua en corriente alterna, adaptada a las cargas eléctricas escolares típicas, como iluminación, ventiladores, equipos computacionales y dispositivos tecnológicos educativos.

El diseño se adapta a las condiciones climáticas particulares de las regiones seleccionadas, tomando en cuenta la radiación solar promedio anual, la temperatura ambiente y la duración del día. Se prioriza un sistema modular que permita flexibilidad para ampliaciones futuras, así como componentes con alta eficiencia energética para maximizar la producción bajo las condiciones locales. Por otra parte, el sistema contempla la instalación estructural resistente para soportar condiciones meteorológicas adversas comunes en zonas rurales. El mantenimiento es sencillo y se prevé capacitar a personal local para su operación rutinaria, garantizando así la continuidad operativa del sistema sin depender exclusivamente de técnicos externos.

Este diseño cumple con proporcionar autonomía energética suficiente para sostener las actividades escolares, promoviendo el acceso a tecnologías educativas modernas y reduciendo la dependencia de fuentes eléctricas contaminantes o costosas.

4.2 Análisis técnico y económico

Desde el punto de vista técnico, el dimensionamiento del sistema se basa en un cálculo detallado de la carga diaria esperada, considerando el consumo de equipos electrónicos, iluminación eficiente tipo LED, y ventilación. Se utiliza un modelo matemático que relaciona la energía consumida con la capacidad de generación y almacenamiento, garantizando un balance apropiado para evitar interrupciones. Los paneles seleccionados tienen una eficiencia promedio del 18-20% y una vida útil estimada superior a 25 años, mientras que las baterías consideradas (tipo AGM o litio) ofrecen ciclos de descarga profunda con duración óptima para encuentros escolares regulares. Además, se consideran protecciones eléctricas para evitar daños por sobrecarga, sobretensión o condiciones climáticas extremas.

En términos económicos, el análisis de costos incorpora la compra, transporte e instalación de equipos, así como gastos asociados a la capacitación y mantenimiento preventivo. Se realiza una comparación entre el costo inicial de inversión y el ahorro en consumo de combustibles fósiles o electricidad de la red, con un horizonte temporal de 10 años. La relación costo-beneficio muestra una recuperación de la inversión en un periodo de 6 a 8 años, favorecida por la reducción de gastos operativos y el impacto ambiental mitigado. El proyecto prioriza el uso de tecnologías asequibles y componentes de fácil adquisición para facilitar la implementación en comunidades con recursos limitados.

Estudios complementarios indican que los sistemas fotovoltaicos, al ser escalables y adaptables, permiten ajustes según la variabilidad de la demanda y condiciones locales, optimizando su costo-eficiencia. Se recomienda un seguimiento constante de los parámetros técnicos para ajustar el sistema y maximizar su rendimiento económico sin comprometer su estabilidad operativa.

4.3 Beneficios sociales, ambientales y educativos

El proyecto aporta beneficios tangibles en distintos niveles. Socialmente, proporciona a las comunidades rurales una fuente de energía confiable y estable, mejorando la calidad de vida y fomentando la inclusión tecnológica. Esto permite el acceso a herramientas digitales para procesos de aprendizaje, incrementando la motivación y participación estudiantil. Además, genera oportunidades de desarrollo local mediante la capacitación en tecnologías renovables, formando capital humano capacitado para el mantenimiento básico y gestión del sistema.

Desde la perspectiva ambiental, el cambio hacia energía solar reduce la dependencia de fuentes fósiles contaminantes, disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero. Esta

transición contribuye directamente a la mitigación del cambio climático y mejora la calidad del aire en zonas rurales, afectadas frecuentemente por la quema de combustibles para generación eléctrica. Sumado a esto, la implementación de energía limpia fomenta la conciencia ecológica en estudiantes y docentes, impulsando prácticas sostenibles y responsables con el entorno.

Educación en el uso y ventajas de la energía solar fortalece la formación ambiental, inserta a los jóvenes en la agenda global de sostenibilidad y promueve la equidad educativa al ofrecer recursos tecnológicos modernos. El acceso a energía confiable elimina barreras para la realización de actividades académicas fuera del horario diurno y permite preservar y utilizar adecuadamente materiales educativos sensibles a condiciones ambientales adversas.

4.4 Plan de implementación y mantenimiento

La implementación inicia con un diagnóstico energético detallado en cada escuela seleccionada para ajustar el diseño a las necesidades específicas. Posteriormente, se realizan las gestiones administrativas y permisos locales para la instalación, seguidos por la adquisición de materiales certificados. La instalación se ejecuta con equipos técnicos especializados, complementada con jornadas de capacitación para el personal local en operación y mantenimiento.

Se establece un programa de mantenimiento preventivo con revisiones periódicas para limpieza de paneles, verificación de conexiones eléctricas y evaluación del estado de las baterías. Este plan incluye la formación continua para detectar y solucionar problemas menores rápidamente, evitando fallas mayores y prolongando la vida útil del sistema. También se instala un sistema de monitoreo remoto que permite la supervisión en tiempo real del rendimiento energético, facilitando la toma de decisiones oportunas.

Finalmente, se planifica la integración del proyecto con actividades educativas y comunitarias, para asegurar la apropiación social del sistema y fomentar el compromiso con su cuidado. Este esquema busca garantizar que el sistema funcione con eficiencia y continuidad, contribuyendo así a la sostenibilidad técnica, económica y social del proyecto a largo plazo.

V. Resultados esperados

Al implementar un sistema de paneles solares en escuelas rurales de México, se tiene esperado impactos positivos en tres grandes rubros: educativo, ambiental y socioeconómico. Cada uno de estos rubros se entrelaza con los otros, de esta manera se espera que los beneficios se reflejen tanto en las instituciones educativas como en su entorno inmediato. Sin embargo, también resulta apropiado el considerar que la implementación práctica puede verse influida por múltiples variables, (técnicas, económicas, sociales o climáticas) que modifiquen los resultados esperados. Por ello los resultados deberán entenderse como potenciales impactos que estarán condicionados a una correcta planeación, mantenimiento y participación comunitaria. A continuación, se describen los beneficios esperados a mayor profundidad.

5.1 Impacto educativo

Se espera que la incorporación de paneles solares mejore las condiciones de aprendizaje al asegurar un suministro eléctrico que sea constante y confiable. Se tiene planeado que la iluminación adecuada en las aulas y espacios comunes favorezca la concentración de los estudiantes, disminuya la fatiga visual y permita un mejor aprovechamiento de los horarios escolares, especialmente en regiones donde la luz natural es limitada, o donde bien puede haber muchas lluvias como en la Sierra de Puebla. La energía disponible también posibilita el uso regular

y constante de dispositivos electrónicos como computadoras, proyectores, ventiladores o equipos de laboratorio, lo que fortalece la enseñanza y promueve un aprendizaje más interactivo y moderno. Todo esto ayudará a reducir la brecha digital entre los estudiantes de zonas rurales respecto a los de urbanas.

Además, la estabilidad eléctrica puede reducir el índice de ausentismo de la planta docente, ya que se generarán condiciones más seguras y confortables para dar clases. Del mismo modo, los estudiantes pueden extender su jornada de estudio, aprovechar asesorías o simplemente participar en actividades extracurriculares que bien antes no podrían llevarse a cabo por la falta de iluminación o de electricidad. Estos factores mejorarían la calidad educativa, haciéndola más completa e íntegra.

Por otro lado, no se puede omitir el hecho de que la existencia de paneles solares en las escuelas tiene un valor simbólico y pedagógico. A través de estos los alumnos pueden observar de manera directa el funcionamiento de una energía limpia, de esta manera comprendiendo los principios básicos de la energía renovable y desarrollando una conciencia ecológica desde la práctica. Este aprendizaje trasciende el aula, ya que los estudiantes suelen replicar el conocimiento adquirido en sus hogares, promoviendo así una cultura de sostenibilidad dentro de la comunidad.

No obstante, los resultados educativos esperados pueden verse limitados si no existe un acompañamiento técnico o pedagógico adecuado. Factores como la falta de mantenimiento del sistema, el mal uso de los equipos eléctricos o la carencia de personal capacitado podrían reducir el aprovechamiento de la energía disponible. Asimismo, una gestión deficiente del tiempo escolar o la ausencia de programas formativos sobre energía renovable podrían hacer que los beneficios educativos vayan perdiendo su efectividad con el tiempo. Por ello, la planeación debe encaminarse

hacia la inclusión de estrategias de capacitación para docentes y alumnos, así como programas de concientización sobre el uso eficiente de los recursos energéticos.

5.2 Impacto ambiental

Se espera que la implementación de paneles solares contribuya significativamente a la reducción de emisiones de Co_2 , contaminantes y en general a la protección del medio ambiente. Se tiene planeado que las escuelas rurales que actualmente dependen de fuentes energéticas convencionales como bien pueden ser los generadores de diésel, logren sustituirlas por una fuente limpia y renovable. De esta manera se reduciría así su huella de carbono y se mejoraría la calidad ambiental del entorno, manteniendo los cielos limpios.

De igual manera, se espera que la energía solar promueva una educación ambiental basada en el ejemplo. Se tiene planeado que los estudiantes y docentes adopten prácticas ecológicas derivadas de la experiencia directa con esta tecnología, convirtiendo a la escuela en un modelo de sostenibilidad y conciencia ambiental dentro de la comunidad.

Se espera también que la reducción de ruido y contaminación, propia del abandono de fuentes fósiles, contribuya a un ambiente escolar más saludable y silencioso. Esto no solo beneficia la salud física y emocional de los estudiantes, sino que refuerza la armonía del entorno educativo.

No obstante, se reconoce que estos resultados dependen de factores como el área de orientación de los paneles, las horas de radiación solar y el mantenimiento constante del sistema. Para lograr esta tarea se espera que se implementen programas de monitoreo y limpieza periódica, de modo que se garantice el máximo y óptimo rendimiento de los paneles y se evite su deterioro prematuro.

5.3 Impacto social y económico

Se espera que la adopción de energía solar tenga un impacto positivo en la economía de las escuelas rurales y de sus comunidades. Se tiene planeado que el ahorro generado por la reducción del gasto eléctrico se destine a la mejora de la infraestructura escolar, la compra de materiales didácticos o la implementación de programas educativos complementarios. De este modo, se espera que las instituciones se vuelvan más autosuficientes y administrativamente eficientes.

Asimismo, se espera que el proyecto contribuya a la creación de empleos locales durante la instalación y mantenimiento de los paneles solares. Se tiene planeado que los habitantes de la comunidad participen activamente en estas labores, fortaleciendo sus capacidades técnicas y generando oportunidades económicas adicionales. Este proceso podría fomentar la formación de microempresas o cooperativas locales especializadas en energía renovable.

Se espera también que las escuelas equipadas con energía solar se conviertan en centros comunitarios activos, donde se puedan realizar talleres, reuniones o actividades vespertinas sin depender de la red eléctrica externa, convirtiéndose en el núcleo de una gran red eléctrica. Se tiene planeado que esto refuerce el sentido de pertenencia y colaboración dentro de la comunidad, fortaleciendo el tejido social y promoviendo una cultura de autogestión.

Sin embargo, se reconoce que los resultados socioeconómicos podrían verse condicionados por variables como el costo inicial de inversión, la falta de financiamiento sostenido o la ausencia de una gestión administrativa eficaz. Se espera que el proyecto contemple mecanismos de mantenimiento a largo plazo y una distribución transparente de los recursos, con el fin de asegurar su viabilidad en el tiempo.

En síntesis, se tiene planeado que la energía solar no solo reduzca costos, sino que se convierta en un motor de desarrollo comunitario y educativo, impulsando la autonomía energética y la mejora continua del entorno escolar.

5.4 Síntesis general de los resultados esperados

En conjunto, se espera que la instalación de paneles solares en escuelas rurales genere beneficios integrales que se reflejen en una mejora educativa, ambiental y socioeconómica. Se tiene planeado que la energía solar se convierta en una herramienta de transformación sostenible, capaz de garantizar mejores condiciones de enseñanza, promover el respeto por el medio ambiente y fortalecer las capacidades de las comunidades rurales.

Aun así, se reconoce que los resultados estarán sujetos a las condiciones reales de implementación, a la gestión de recursos y a la participación activa de los actores involucrados. Se espera que, con una planeación adecuada, el mantenimiento continuo y la educación ambiental constante, la energía del sol se consolide como un símbolo de progreso, equidad y desarrollo sustentable en las zonas rurales.

VI. Conclusión

6.1 Propuesta y diseño del producto innovador

El producto innovador consiste en un sistema solar fotovoltaico modular específicamente diseñado para escuelas rurales sin acceso confiable a la red eléctrica en México. Este sistema se compone de paneles solares de alta eficiencia, baterías de ciclo profundo para almacenamiento, inversores para convertir corriente continua a alterna, y un sistema estructural resistente a

condiciones climáticas adversas. La característica distintiva de este diseño es su adaptabilidad modular, que permite ampliar la capacidad según la demanda energética futura. Además, está optimizado para bajo mantenimiento y operado por personal local capacitado, asegurando autonomía energética para usos educativos como iluminación, equipos computacionales y conservación de materiales. Este enfoque contempla tanto requisitos técnicos como económicos y sociales, facilitando la inclusión tecnológica y sustentabilidad en comunidades marginadas.

Ejemplos de productos similares desarrollados mundialmente incluyen:

- El proyecto Solar for Schools en India, que dota a escuelas rurales de sistemas solares integrados para mejorar la cobertura educativa y reducir la brecha digital (Kumar & Sharma, 2013).
- Iniciativas en Kenia que utilizan sistemas solares portátiles para autonomía energética educativa, combinando eficiencia y bajo costo para comunidades vulnerables (Yadoo & Cruickshank, 2010).
- Proyectos en Brasil que integran paneles solares en escuelas remotas, enfocados en capacitación local para sostenibilidad técnica y social (Munda & Nanni, 2015).
- Programas en Filipinas que combinan energía solar y acceso a internet, mejorando el rendimiento académico a través de tecnologías limpias (Twaha, Salem & Williams, 2019).

6.2 Conclusiones

La propuesta innovadora de un sistema solar modular para escuelas rurales aborda un problema crítico de acceso energético que impacta directamente la calidad educativa y desarrollo comunitario. Su diseño técnico y económico equilibrado representa una solución viable y escalable para zonas marginadas. Sin embargo, su implementación podría revelar complicaciones relacionadas con la infraestructura local, la capacitación técnica continua y la gestión administrativa del mantenimiento. La sostenibilidad a largo plazo demanda no solo componentes confiables sino un compromiso social y financiero constante, además de la adaptación tecnológica a variaciones climáticas y de demanda energética. El trabajo futuro debe incluir la fase piloto para validar el diseño en campo, seguimiento a largo plazo de los impactos educativos y ambientales, y planes para integrar tecnologías complementarias, como sistemas de gestión energética digitales.

6.3 Reflexión personal

Realizar este proyecto ha sido una experiencia enriquecedora que combina ingeniería, sostenibilidad y desarrollo social. La posibilidad de contribuir a cerrar brechas educativas y tecnológicas mediante un diseño pensado para comunidades rurales subraya la relevancia práctica de la ingeniería aplicada. Sin embargo, también evidenció los múltiples retos que enfrentan estas soluciones, desde limitaciones presupuestales hasta resistencias sociales y variables climáticas impredecibles. Este proceso hizo más claro que la innovación no solo es técnica, sino profundamente humana y contextual. Requiere entender las condiciones locales, educar y empoderar a las comunidades para que sean partícipes y guardianes de la tecnología. La

interdisciplina entre técnica y sociedad es fundamental para lograr impactos duraderos, y participar de esta solución aporta un aprendizaje invaluable sobre cómo transformar conocimiento en bienestar social.