

Transición energética y apropiación de tecnologías sustentables en comunidades originarias de San Francisco Pichátaro, Michoacán, México

Yovany Galindo ^{1,*}, José Núñez ¹, Carlos A. García ¹, Anahi Arreaga ²

¹ Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, Universidad Nacional Autónoma de México, Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta, C.P. 58190, Morelia, Michoacán, México.

² Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Libramiento Norte Poniente No. 1150, Col. Potinaspak, C.P. 29018, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México.

* Autor de correspondencia: jgalindo@enesmorelia.unam.mx

Artículo de divulgación científica

Recibido: 22 de abril de 2025 Aceptado: 5 de junio de 2025 Publicado: 30 de junio de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i1.448>

Resumen: Este trabajo documenta la implementación de tecnologías de energías renovables en la comunidad de San Francisco Pichátaro, Michoacán en el periodo 2023-2024, como parte de una estrategia para mejorar el acceso a servicios básicos y reducir impactos ambientales en contextos rurales. La metodología consistió en conocer la perspectiva global y local para la implementación participativa de sistemas fotovoltaicos en escuelas y casetas de vigilancia, luminarias solares en espacios comunitarios, estufas de leña mejoradas, un biodigestor educativo y un sistema de captación de agua de lluvia, integrando además la capacitación técnica de estudiantes y habitantes. Los resultados muestran beneficios tangibles en electrificación, manejo de residuos, seguridad, salud y educación ambiental. Sin embargo, se identificaron barreras importantes como la falta de conocimientos técnicos, la resistencia al cambio de prácticas tradicionales de cocción, los picos de demanda eléctrica derivados de la carpintería local, y desigualdades de género en el acceso a la formación. Se concluye que la eficacia de estas tecnologías no depende únicamente de su desempeño técnico, sino de su apropiación cultural, social y organizativa, lo cual requiere enfoques de implementación sensibles al contexto comunitario y sostenidos en el tiempo.

Palabras clave: Transición energética; tecnologías sustentables; energía rural; equidad de género; pobreza energética.

Introducción

A nivel global, las tecnologías de energía limpia han sido ampliamente reconocidas por su potencial para enfrentar la crisis climática y mejorar el acceso a servicios energéticos en contextos vulnerables. Estas tecnologías contribuyen a la reducción de emisiones contaminantes y al fortalecimiento de modelos de desarrollo sustentable. Incluyen fuentes que generan electricidad o calor con bajas o nulas emisiones, como la energía solar, eólica, hidroeléctrica, geotérmica y la bioenergía.

En México, la transición energética comenzó a consolidarse a partir de la promulgación de la Ley para el aprovechamiento de energías renovables y el financiamiento de la transición energética en 2008. Esta legislación estableció las bases para diversificar la matriz energética, reducir la dependencia de combustibles fósiles y fomentar el uso de fuentes limpias.

En este contexto, diversas políticas públicas han buscado ampliar el acceso a estas fuentes en zonas rurales mediante la promoción de tecnologías renovables. Programas institucionales impulsados por dependencias como la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) y el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE) han priorizado criterios de equidad territorial, viabilidad técnica y sostenibilidad económica para mejorar la cobertura energética en comunidades marginadas.

La introducción de tecnologías limpias, como los sistemas fotovoltaicos, aerogeneradores, estufas ecológicas de biomasa y biodigestores han resuelto necesidades energéticas básicas como la iluminación, la cocción de alimentos, el bombeo de agua o la carga de dispositivos. Además, estas tecnologías han demostrado ser efectivas en la reducción de emisiones contaminantes (Juárez-Hernández *et al.*, 2014; Hernández Pérez, 2021) y mejorar la salud pública, especialmente al sustituir estufas convencionales por modelos más eficientes que reducen la exposición al humo y sus efectos respiratorios adversos (Díaz Jiménez *et al.*, 2011; García-Martínez *et al.*, 2023).

El objetivo de este trabajo es presentar una perspectiva internacional y nacional sobre las tendencias en el estudio de tecnologías de energías renovables más estudiadas en contextos rurales. Como parte de este análisis, se incorpora el estudio de caso de la comunidad purépecha de San Francisco Pichátaro, en Michoacán, donde se han implementado diversas soluciones tecnológicas como sistemas fotovoltaicos, estufas ecológicas, biodigestores y captadores de agua pluvial.

Desarrollo

La relevancia de estudiar tecnologías de energías renovables no sólo radica en sus beneficios prácticos, sino también en la necesidad de comprender sus impactos y adaptaciones en distintos contextos. Analizar su adopción, eficiencia y sostenibilidad a nivel técnico, ambiental y social permite tomar decisiones informadas en el diseño de políticas públicas y proyectos comunitarios con pertinencia local.

A lo largo de la última década, la comunidad científica ha investigado una amplia gama de tecnologías con enfoques diversos, como se muestra en la Figura 1, que ilustra la cantidad de artículos y citas asociadas a cada una de ellas en contextos rurales globales. La Figura 1 revela que el sistema fotovoltaico es la tecnología más citada y documentada, seguido por la energía eólica, plantas solares, estufas de cocción y diversas aplicaciones basadas en biomasa, como biodigestores y gasificación.

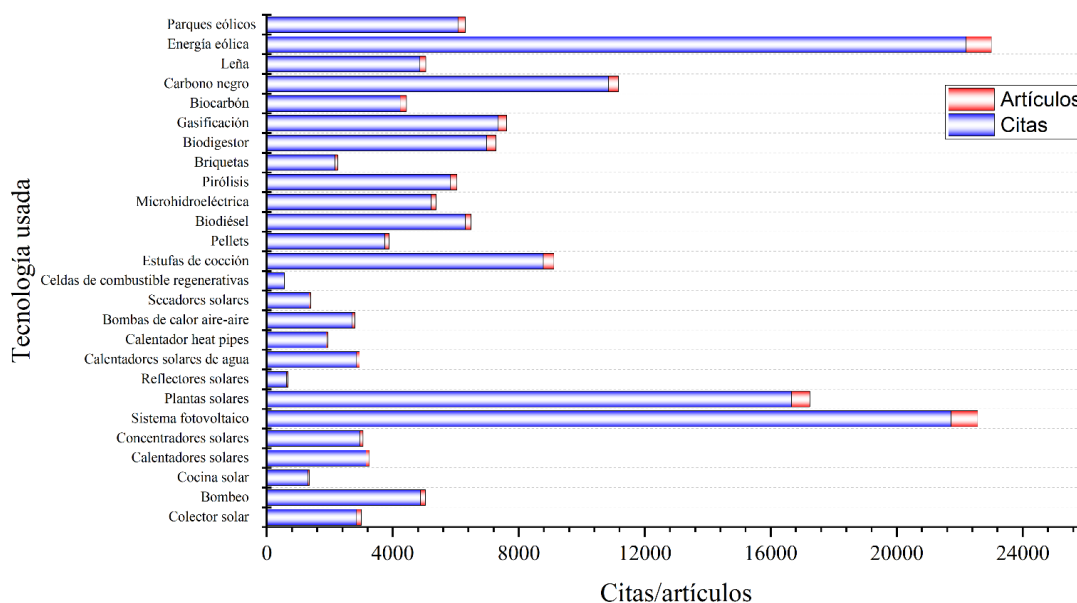


Figura 1. Número de artículos y citas científicas asociadas a tecnologías de energías renovables aplicadas en contextos rurales a nivel global, según búsqueda en la base de datos Scopus (consulta 2025, palabras claves: rural technologies, renewable energy, renewable energies y rural technology).

Según una revisión bibliográfica realizada en la base de datos Scopus, correspondiente al periodo 2014–2024, la Figura 2 muestra las tecnologías más investigadas por la comunidad científica de México en contextos rurales. La bioenergía se posiciona como el campo más estudiado, con 76 publicaciones y más de 1400 citaciones, seguido de la energía fotovoltaica, estufas solares y energía eólica. En contraste, tecnologías como las microhidroeléctricas, calentadores solares, concentradores solares y la geotermia presentan un número reducido de publicaciones, lo que sugiere oportunidades de investigación en esas áreas con orientación a comunidades rurales. La distribución evidencia tanto las prioridades de estudio actuales como los vacíos temáticos que pueden ser explorados en futuros trabajos.

Entre las tecnologías sustentables más utilizadas en las comunidades indígenas de Michoacán destacan los sistemas de cocción solar, los sistemas de purificación solar de agua y los dispositivos multipropósito para el calentamiento y tratamiento de recursos básicos. Estas tecnologías han sido desarrolladas en varias generaciones, pasando de prototipos iniciales a diseños validados por los propios usuarios, con mejoras tanto en funcionalidad como en apropiación social.

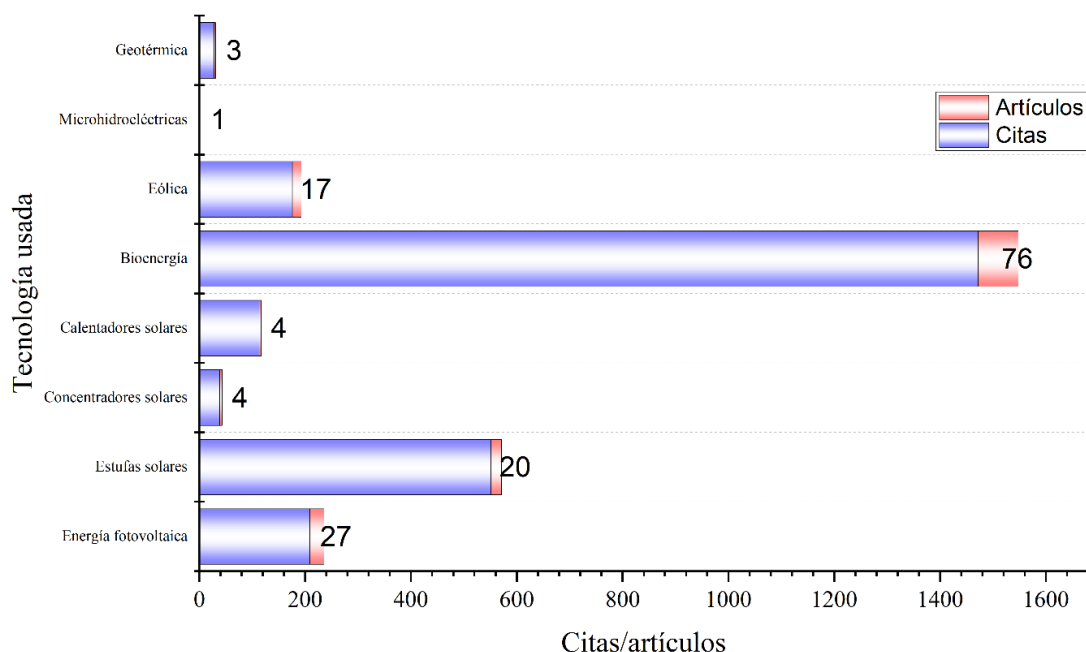


Figura 2. Análisis bibliométrico por tecnología renovable en zonas rurales de México. Datos obtenidos a partir de una búsqueda temática en Scopus (consulta 2025, palabras claves: rural technologies mexico, renewable energy mexico, renewable energies mexico y rural technology mexico).

A lo largo de los últimos diez años, se ha registrado un crecimiento constante en la implementación de tecnologías sustentables en comunidades rurales, pasando de unas cuantas unidades en sus etapas iniciales a más de 200 familias beneficiadas directamente y más de 100 metros cuadrados de superficie instalada para la captación solar. En este mismo periodo, se han distribuido e instalado más de 10,000 estufas ecológicas, lo que representa un avance significativo en la mejora de las condiciones de salud y el uso eficiente de la biomasa (Díaz Jiménez *et al.*, 2011). Este proceso ha estado acompañado por un esfuerzo formativo sostenido: aproximadamente 10,000 personas han sido capacitadas en el uso, mantenimiento y reproducción de estas tecnologías, promoviendo su apropiación y sostenibilidad (López-Sosa *et al.*, 2018).

Implementación de tecnologías en San Francisco Pichátaro

San Francisco Pichátaro es una comunidad indígena purépecha ubicada en el estado de Michoacán, México, dentro del municipio de Tingambato. Su localización geográfica se encuentra aproximadamente en las coordenadas 19.576156° N, -101.812981° O, en una zona boscosa de la Meseta Purépecha. Esta región se caracteriza por su fuerte identidad comunitaria, su relación estrecha con el bosque y un notable nivel de organización social que ha facilitado la implementación de proyectos enfocados en el bienestar colectivo, particularmente en lo relacionado con el acceso a energía y servicios básicos mediante tecnologías sustentables.

Como parte de estas acciones, se han instalado diversas tecnologías de energía renovable y manejo ambiental con un enfoque participativo. Entre ellas, destacan los sistemas fotovoltaicos autónomos colocados en una escuela de nueva creación, así como en casetas de vigilancia y en el panteón municipal. Estas instalaciones han permitido dotar



Figura 3. Implementación de sistemas fotovoltaicos en la comunidad de San Francisco Pichátaro en casetas de vigilancia, escuelas y panteón (CONACYT, 2021).

de electricidad a espacios que previamente carecían de acceso a la red, mejorando sus condiciones operativas y de seguridad (Figura 3).

Además, se instalaron luminarias solares en puntos estratégicos, con participación comunitaria tanto en la selección de los sitios como en la fabricación de estructuras de soporte (Figura 4 a). Paralelamente, se distribuyeron aproximadamente 70 estufas de leña mejoradas, entre ellas los modelos Patsari, Keri, Tuya y Patsari Móvil (Figura 4 b). Estas tecnologías han permitido reducir significativamente el consumo de leña y la exposición al humo doméstico, al tiempo que fomentaron el empleo y la capacitación local, ya que algunas estufas fueron fabricadas por los propios habitantes.



Figura 4. (a) Participación de la comunidad San Francisco Pichátaro en la selección y capacitación de tecnologías. (b) Implementación de diferentes estufas ecológicas (CONACYT, 2021).

Además de las tecnologías energéticas, se llevaron a cabo instalaciones orientadas al uso eficiente y sostenible de recursos naturales. En el Colegio de Bachilleres del Estado de Michoacán (COBAEM) de San Francisco Pichátaro (ubicado en las coordenadas 19.566312° N, -101.802304° O) se implementó un biodigestor HomeBiogas 2.0 para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos orgánicos. Este sistema tiene una función tanto práctica como educativa, pues es utilizado en laboratorios y áreas verdes escolares (Figura 5 a). Asimismo, en la escuela secundaria se construyó un sistema de captación de agua de lluvia con una capacidad de 5000 litros, equipado con filtro tipo tlaloque y mecanismos de tratamiento inicial, que permite abastecer sanitarios y áreas verdes, fortaleciendo el uso responsable del agua y promoviendo una cultura ambiental entre estudiantes y docentes (Figura 5 b).



Figura 5. (a) Implementación de biodigestor en el COBAEM de San Francisco Pichátaro en la selección y capacitación de tecnologías. (b) Implementación de sistema de captación de agua en escuela secundaria (CONACYT, 2021).

Barreras en la adopción de las tecnologías

Durante el proceso de instalación y seguimiento de las tecnologías sustentables en San Francisco Pichátaro, se identificaron diversas barreras que condicionaron su adopción y sostenibilidad. Una de las principales limitaciones fue la falta de conocimiento técnico por parte de los usuarios, lo cual generaba incertidumbre respecto al uso adecuado de los sistemas y temor a dañarlos. Esto fue particularmente evidente en tecnologías como los sistemas fotovoltaicos autónomos, donde la manipulación de baterías, inversores o paneles solares requería cierto nivel de capacitación. También se observó que la comunidad cuenta con una economía local fuertemente ligada a la carpintería, lo que implica el uso de herramientas eléctricas con picos de demanda energética elevados, esta característica dificultó el diseño de sistemas de energía autónoma capaces de cubrir de forma continua y segura los requerimientos eléctricos.

Otra barrera importante fue la desconfianza comunitaria hacia iniciativas externas, derivada de experiencias previas en las que los proyectos no fueron ejecutados de forma participativa o no cumplieron con las expectativas generadas. Esta resistencia se expresó en una baja participación inicial en algunas actividades, así como en dudas respecto a la pertinencia de las tecnologías ofrecidas. Asimismo, se observó que algunas estructuras de organización comunitaria no estaban preparadas para asumir la gestión técnica y operativa de las tecnologías implementadas. La ausencia de mecanismos formales para el seguimiento, así como la rotación en los liderazgos locales, dificultaron la continuidad de acciones. Estos hallazgos resaltan la importancia de diseñar estrategias de acompañamiento más integrales, que incluyan capacitación técnica, fortalecimiento comunitario y procesos de apropiación cultural de la tecnología.

Además, se evidenciaron problemas de género relacionados con la distribución desigual del conocimiento técnico. Durante los talleres y capacitaciones, se observó que la participación masculina predominaba en los espacios de formación técnica; mientras que, muchas mujeres principales usuarias de las estufas no accedían plenamente a esos conocimientos, lo que generaba brechas en la apropiación real de la tecnología. También se detectaron tensiones cuando las decisiones comunitarias eran tomadas mayoritariamente por hombres, sin considerar las necesidades específicas de las mujeres usuarias. Estos elementos subrayan la importancia de incorporar enfoques sensibles al contexto cultural y de género en el diseño, implementación y seguimiento de proyectos tecnológicos en comunidades indígenas.

Tendencias en el estudio y adopción de las tecnologías

La investigación sobre tecnologías de energía limpia en comunidades rurales ha crecido en los últimos 10 años a un ritmo de 11% anual. De acuerdo con el análisis bibliográfico realizado, los países India, Estados Unidos, China, Reino Unido, Alemania, España, Italia, Sudáfrica y Malasia concentran cerca del 50 % de las publicaciones, dentro de un universo de más de 100 países que han contribuido en esta área del conocimiento. Los tópicos más investigados giran en torno a; “renewable energy, sustainable development, electricity supply, wind turbines, battery technologies, innovation adoption, agricultural technology, information and communication technologies, y biogas anaerobic digestion”.

Estas tendencias indican que la investigación está priorizando el estudio al acceso a electricidad como eje para el desarrollo rural. Asimismo, se observa un creciente interés en el desarrollo de soluciones energéticas aplicadas a la agricultura y a la digitalización rural, mediante el uso de sistemas de información y comunicación energizados con fuentes renovables. Al mismo tiempo, tecnologías como el biogás y la digestión anaeróbica están ganando protagonismo por su potencial en el manejo de residuos orgánicos y la producción de energía descentralizada.

Las tendencias actuales en el estudio de las barreras para la adopción de tecnologías de energía limpia a nivel internacional, se centran en aspectos como la aceptación pública, los modelos de propiedad, los esquemas de incentivos como las tarifas de alimentación, así como en la toma de decisiones complejas mediante análisis de criterios múltiples. También destacan las investigaciones sobre la adopción de sistemas fotovoltaicos, particularmente en lo relacionado con su aceptación social, su sostenibilidad a largo plazo y los desafíos técnicos para su integración en redes inteligentes y sistemas de gestión energética. Estos enfoques reflejan que, más allá del desarrollo tecnológico, la adopción futura de energías renovables en entornos rurales está condicionada por factores económicos, sociales, institucionales y culturales que requieren atención desde una perspectiva multidisciplinaria.

El análisis de los términos clave en publicaciones sobre estudios en energías limpias en México revela un crecimiento en el estudio de tópicos como *bioenergy*, *solar energy*, *wind power* y *renewable energy systems*, así como en temas vinculados a la transición energética. Esta tendencia indica un enfoque más aplicado y orientado a soluciones concretas para el contexto nacional. En contraste, términos como *renewable resource* y *energy planning* presentan un declive, lo que sugiere un desplazamiento hacia líneas más especializadas. Conceptos como *electricity generation* se mantienen estables, reflejando su papel transversal.

En el análisis de barreras para la implementación de energías limpias, se observa una creciente atención a factores sociales y estructurales. Términos como *political ecology*, *patriarchy*, *social exclusion* y *poverty alleviation* evidencian que la desigualdad y la exclusión limitan el acceso equitativo a estas tecnologías. También emergen enfoques ligados a la *urban sustainability* y la *environmental technology*, que destacan la necesidad de soluciones contextualizadas. Aunque se mantiene el interés en fuentes como la energía eólica e hidroeléctrica, conceptos como *energy price* y *business service* señalan que las barreras económicas siguen siendo relevantes. Esto reafirma la importancia de abordar la transición energética desde un enfoque integral, que incluya dimensiones sociales, económicas y territoriales.

Conclusiones

Los hallazgos de este trabajo evidencian que las tecnologías de energía limpia han ganado protagonismo como herramientas clave para promover el desarrollo sustentable en comunidades rurales. A nivel internacional, las investigaciones se orientan hacia soluciones aplicadas al suministro eléctrico, la agricultura y la digitalización, con énfasis en tecnologías como la bioenergía, los sistemas fotovoltaicos y la digestión anaeróbica. En México, estas tendencias se reflejan en el avance de políticas públicas y programas que han impulsado la implementación de tecnologías sustentables en contextos indígenas, como en San Francisco Pichátaro. No obstante, persisten barreras que condicionan su adopción, relacionadas con factores técnicos, sociales, institucionales y de género. Estas limitaciones, junto con la evidencia bibliométrica sobre los tópicos más estudiados, subrayan la necesidad de enfoques integrales y culturalmente sensibles que fortalezcan la apropiación tecnológica. En este sentido, los trabajos futuros deberán incorporar de forma estrecha las conexiones con factores sociales para superar las barreras estructurales y avanzar hacia una transición energética más justa, equitativa y sostenible.

Bibliografía

- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (2021–2024). *Desarrollo e implementación de alternativas energéticas sustentables en comunidades rurales de la Meseta Purépecha*, Michoacán (Proyecto PRONACES 319333, FOP04-2021-03). CONACYT.
- Díaz Jiménez, R., Berrueta Soriano, V., & Masera Cerutti, O. (2011). *Estufas de leña*. Cuadernos Temáticos sobre Bioenergía, No. 3. Red Mexicana de Bioenergía, A.C., México.
- García-Martínez, R., Hernández-Soto, F. N., & Rodríguez-Soto, J. M. (2023). Uso de leña y estufas ecológicas en comunidades rurales de la región de Valle de Bravo, Estado de México. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(6), 2376–2386. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i6.8860
- Hernández Pérez, J. (2021). Efecto del consumo de energía renovable en las emisiones de gases de efecto invernadero en países con ingresos bajos y altos. *Acta Universitaria*, 31. <https://doi.org/10.15174/au.2021.3030>
- Juárez-Hernández, S., & León, G. (2014). Energía eólica en el Istmo de Tehuantepec: desarrollo, actores y oposición social. *Problemas del Desarrollo*, 45(178), 139–162. [https://doi.org/10.1016/S0301-7036\(14\)70663-2](https://doi.org/10.1016/S0301-7036(14)70663-2)
- López-Sosa, L. B., González-Avilés, M., Servín Campuzano, H., & García-Avilés, M. (2018). *10 años de tecnologías sustentables para el sector indígena michoacano: una experiencia desde la Universidad Intercultural Indígena de Michoacán*. Universidad Intercultural Indígena de Michoacán.