



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS



INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN
ENERGÍAS RENOVABLES

TESIS

**“METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE
PROYECTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN
DE SISTEMAS ENERGÉTICOS RENOVABLES (SER)
EN COMUNIDADES RURALES”**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTOR EN **MATERIALES Y SISTEMAS
ENERGÉTICOS RENOVABLES**

PRESENTA
MTRA. ALISON RUIZ SUAREZ

DIRECTOR
DR. GUILLERMO R. IBÁÑEZ DUHARTE

CO-DIRECTOR
DR. JOEL MOREIRA ACOSTA

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Septiembre de 2025



UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y ARTES DE CHIAPAS

SECRETARÍA ACADÉMICA

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas a 22 de septiembre de 2025

Oficio No. SA/DIP/I085/2025

Asunto: Autorización de Impresión de Tesis

C. Alison Ruiz Suarez

CVU: 796976

Candidata al Grado de Doctora en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables

Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables

UNICACH

Presente

Con fundamento en la opinión favorable emitida por escrito por la Comisión Revisora que analizó el trabajo terminal presentado por usted, denominado **METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS ENERGÉTICOS RENOVABLES (SER) EN COMUNIDADES RURALES** y como Director de tesis el Dr. Guillermo Rogelio Ibáñez Duharte (CVU 215574) y Co-Director el Dr. Joel Moreira Acosta (CVU 206687) quienes avalan el cumplimiento de los criterios metodológicos y de contenido; esta Dirección a mi cargo **autoriza** la impresión del documento en cita, para la defensa oral del mismo, en el examen que habrá de sustentar para obtener el **Grado de Doctora en Materiales y Sistemas Energéticos Renovables**.

Es imprescindible observar las características normativas que debe guardar el documento, así como entregar en esta Dirección una copia de la *Constancia de Entrega de Documento Recepcional* que expide el Centro Universitario de Información y Documentación (CUID) de esta Casa de estudios, en sustitución al ejemplar empastado.

Atentamente
"Por la Cultura de mi Raza"

Dra. Dulce Karol Ramírez López
DIRECTORA



C.c.p. Dr. José Francisco Pola Albores, Director del Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables, UNICACH. Para su conocimiento.
Dra. Laura E. Vereá Valladares, Coordinadora del Posgrado, Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables, UNICACH. Para su conocimiento.
Archivo/minutario.

EPL/DKRL/igp/gtr

2025, Año de la mujer indígena
Año de Rosario Castellanos

Ilustración: Noé Zenteno



Ciudad Universitaria, libramiento norte
poniente 1150, col. Lajas Maciel C.P. 29039.
Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México
investigacionposgrado@unicach.mx

Dedicatoria

A Domingo López López (†), cuya confianza, generosidad y liderazgo comunitario hicieron posible esta investigación. Su voz sigue guiando cada decisión tomada con la comunidad.

A mi esposo, Erick Hernández Domínguez, por su amor incondicional, paciencia y compañía en cada desvelo, siendo pilar fundamental en cada etapa de este camino. A mis hijas, Emma A. Hernández Ruiz y Sophia Hernández Méndez, quienes con su ternura, sonrisas y fortaleza me inspiraron a no rendirme y a dar siempre lo mejor de mí. A mis padres, cuyo ejemplo de trabajo, valores y apoyo constante me han guiado para alcanzar este logro. A toda mi familia, por acompañarme con cariño y aliento en los momentos más difíciles.

A mis tutores académicos, el Dr. Joel Moreira Acosta, Dr. Guillermo R. Ibáñez Duharte, Dr. Orlando Lastres Danguillecourt, Dr. Joel Pantoja Enríquez y Dr. Nein Farrera Vásquez, así como a la Dra. Marcela Torres Wong y la Dra. Yessica Cienfuegos Martínez, por su guía y colaboración.

A la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH), al Instituto de Investigación e Innovación en Energías Renovables (IIER) y al CECYTIC, por el apoyo institucional y la beca otorgada.

A las comunidades rurales que me abrieron sus puertas y corazón, inspiración constante de esta metodología

"La energía solar llegó a la comunidad como un 'regalo del cielo', pero pronto reveló desigualdades ancestrales: las mujeres extendieron sus jornadas bajo la luz artificial y los niños reinterpretaron el 'progreso' a través del ocio tecnológico. Estos hallazgos desafían la idea de que las energías renovables son, por sí mismas, emancipadoras y exigen replantear qué significa 'éxito' en la transición energética."

— Alison Ruiz

Resumen

Las comunidades rurales enfrentan obstáculos estructurales para acceder a sistemas energéticos renovables adecuados, debido a metodologías de implementación que omiten factores sociales, culturales y de género. Esta investigación propuso y validó una metodología integral para la priorización de tecnologías energéticas basada en la evaluación de su idoneidad socio-técnica percibida por la comunidad. El enfoque integra diagnóstico etnográfico, análisis participativo y métodos de decisión multicriterio (AHP, MARCOS, TOPSIS, VIKOR) para transformar percepciones comunitarias sobre dimensiones técnicas, económicas y ambientales (como la facilidad de mantenimiento percibida, la utilidad económica anticipada y la aceptabilidad ambiental) criterios cuantificables y ponderables. Como resultado principal, se desarrolló una herramienta computacional en Python (Software MALIS) que automatiza la captura, ponderación y ranking de alternativas. La metodología fue validada en la comunidad de San Antonio El Porvenir, Chiapas, demostrando su efectividad al aumentar significativamente la aceptación comunitaria de las tecnologías propuestas. Este trabajo contribuye con una estrategia replicable que articula el conocimiento local con el rigor de los modelos de decisión, permitiendo a instituciones y organizaciones diseñar proyectos energéticos técnicamente sólidos y socialmente legítimos.

Palabras clave: energías renovables, decisión multicriterio, apropiación tecnológica, justicia energética, evaluación socio-técnica, Python.

Abstract

Rural communities face structural barriers to accessing appropriate renewable energy systems, largely due to implementation models that overlook social, cultural, and gender-related factors. This research proposed and validated a comprehensive methodology for prioritizing energy technologies based on the community's perceived socio-technical suitability. The approach integrates ethnographic diagnosis, participatory analysis, and multi-criteria decision-making methods (AHP, MARCOS, TOPSIS, VIKOR) to transform community perceptions of technical, economic, and environmental dimensions (such as perceived ease of maintenance, anticipated economic utility, and environmental acceptability) into quantifiable and weightable criteria. As a main outcome, a computational tool was developed in Python (MALIS Software) to automate the capture, weighting, and ranking of alternatives. The methodology was validated in the community of San Antonio El Porvenir, Chiapas, where it significantly enhanced community acceptance of the proposed technologies. This study provides a replicable strategy that bridges local knowledge with the rigor of decision models, enabling governments and grassroots organizations to design energy projects that are both technically robust and socially legitimate.

Keywords: renewable energy, multi-criteria decision making, technological appropriation, energy justice, socio-technical assessment, Python.

Índice General

Dedicatoria	1
Resumen	1
Abstract	5
Índice General	6
Índice de Figuras	9
Índice de Tablas	9
Índice de Variables.....	10
Glosario	11
1. Introducción	13
1.1 Entorno y Conceptualización	13
1.1.1 Definiciones clave	13
1.2 Antecedentes.....	14
1.2.1 Evolución de los enfoques: de lo técnico a lo socio-técnico.....	14
1.2.2 Integración de métodos multicriterio (MCDM) y participación	16
1.2.3 Limitaciones y oportunidades en la integración actual	18
1.3 Problema.....	20
1.4 Hipótesis.....	20
1.5 Justificación	20
1.6 Objetivo general	22
1.6.1 Objetivos particulares.....	22
1.7 Conclusión	22
2. Fundamentos Teóricos	23
2.1 Fundamentos para el diseño metodológico mixto	23
2.1.1 Fundamentos de los métodos cualitativos.....	23
2.1.2 Fundamentos de los métodos cuantitativos.....	25
2.2 Fundamentos para el desarrollo de Software.....	30
2.2.1 Lenguaje y ecosistema computacional	30
2.2.2 Principios de ICT4D para el desarrollo de software	31
2.2.3 Metodologías ágiles y control de versiones para la calidad del código	32
2.2.4 Estrategia de portabilidad y replicabilidad.....	32
2.2.5 Implementación y verificación de algoritmos MCDM (AHP, TOPSIS, VIKOR, MARCOS).....	33
2.3 Fundamentos para la validación de herramientas.....	33

2.3.1	Estudio de caso único como estrategia de validación empírica	34
2.3.2	Métricas para la evaluación de sistemas de soporte a decisiones	34
2.3.3	Evaluación de la confiabilidad del proceso participativo	35
2.3.4	Protocolos éticos para la recolección de datos en contextos comunitarios	35
2.3.5	Conclusión	36
3.	Metodología	37
3.1	Diseño de la metodología participativa de priorización	38
3.1.1	Tipo y enfoque de estudio	38
3.1.2	Procedimiento realizado	38
3.1.3	Técnicas e instrumentos utilizados	39
3.1.4	Población y muestra	39
3.1.5	Estrategia de análisis	39
3.1.6	Justificación metodológica	40
3.2	Desarrollo de la herramienta computacional MALIS	40
3.2.1	Tipo de estudio	40
3.2.2	Procedimiento realizado	40
3.2.3	Técnicas y herramientas utilizadas	41
3.2.4	Justificación de decisiones tecnológicas	41
3.3	Validación metodológica mediante estudio de caso	41
3.3.1	Tipo de estudio	42
3.3.2	Procedimiento realizado	42
3.3.3	Instrumentos y técnicas	43
3.3.4	Población y muestra	43
3.3.5	Estrategia de análisis	44
3.3.6	Justificación metodológica	44
3.4	Conclusión de la metodología	44
4.	Resultados	45
4.1	Resultados del diseño de la metodología	45
4.1.1	Acceso a las comunidades y decisión del caso principal	45
4.1.2	Talleres participativos	46
4.1.3	Entrevistas semiestructuradas	48
4.1.4	Diseño de una metodología socio-técnica	48
4.2	Resultados del desarrollo de la herramienta MALIS	52
4.2.1	Requerimientos identificados desde ICT4D y metodologías ágiles	52
4.2.2	Arquitectura lógica del software	52

4.2.3	Validación técnica y consistencia algorítmica	54
4.2.4	Interfaz interactiva.....	55
4.3	Validación en campo: caso San Antonio El Porvenir	55
4.3.1	Selección de caso y prueba del módulo booleano	55
4.3.2	Aplicación de la metodología en San Antonio.....	56
4.3.3	Validación social	62
4.3.4	Validación de usabilidad y utilidad percibida (SUS y TAM)	62
4.3.5	Síntesis de validación técnica, social y de usabilidad	63
4.4	Conclusión de los resultados	64
5.	Discusiones.....	65
5.1	Discusión del Diseño metodológico.....	65
5.2	Discusión del desarrollo del software MALIS	66
5.3	Discusión de la validación en San Antonio El Porvenir	68
6.	Conclusiones	70
6.1	Conclusión general.....	70
6.2	Conclusiones específicas.....	70
6.3	Recomendaciones y líneas futuras.....	71
7.	Referencias	73
Anexo		77

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de flujo metodológico de la investigación por objetivos específicos.	37
Figura 2. Proceso de validación de la metodología y la herramienta MALIS.	42
Figura 3. Asamblea de líderes para acceso a la comunidad.....	46
Figura 4. Esquema general de la metodología participativa–multicriterio propuesta.....	51
Figura 5. Interfaz inicial del software MALIS.....	53
Figura 6. Ventana de datos de entrada.	55
Figura 7. Encuesta para cuantificar las percepciones de los criterios por necesidades.....	58
Figura 8. Ranqueo de tecnologías de los metodos multicriterio: MARCOS, TOPSIS Y VIKOR.....	61
Figura 9. Orden en que las tecnologías deben implementarse para obtener aceptación de la comunidad.	61
Figura 10 Presentación de resultados de MALIS en asamblea comunitaria.....	62
Figura 11. Ventana para la selección de Casos.	86
Figura 12. Guías de acompañamiento técnico según sea el caso.	87
Figura 13. Ventana para generar las encuestas según las necesidades.....	87
Figura 14. Ventana de análisis de Datos. (Software MALIS).....	88
Figura 15. Pestaña para ver las gráficas. (Software MALIS)	88
Figura 16. Resultados del método AHP. (Software MALIS)	89
Figura 17. Pestaña para evaluación de alternativas, mediante encuestas. (Software MALIS).....	89
Figura 18. Matriz de Evaluación de las alternativas respecto a los criterios. (Softwares MALIS).....	90
Figura 19. Pestaña del Ranqueo de las alternativas respecto el método. (Software MALIS).....	90
Figura 20. Pestaña del análisis de resultados de las tecnologías. (Software MALIS).....	91
Figura 21. Directorio de instituciones y organizaciones que colaboran con proyectos en comunidades rurales. (Software MALIS).....	91
Figura 22. Reporte final creado por el software MALIS.....	92

Índice de Tablas

Tabla 1. Frecuencia de aparición de criterios sociales en la literatura sobre evaluación de tecnologías energéticas renovables.....	16
Tabla 2. Comparativa de métodos MCDM en la literatura revisada (n=101 artículos).	17
Tabla 3. Comparación de caso de Estudio entre San Antonio el Porvenir y Azapac.....	46
Tabla 4. Percepciones comunitarias observadas en talleres participativos.....	47
Tabla 5. Percepciones comunitarias obtenidas en entrevistas semiestructuradas.....	49
Tabla 6. Perfiles comunitarios y estrategias de implementación metodológica.....	50
Tabla 7. Módulos principales del software MALIS y sus funciones.....	53
Tabla 8. Resultados de validación de usabilidad (SUS) y utilidad percibida (TAM).....	54
Tabla 9. Comparación de comunidades y clasificación booleano.	56
Tabla 10. Criterios Sociales para la selección de los SER.....	57
Tabla 11. FODA comunitario de San Antonio El Porvenir.	57
Tabla 12. Matriz de evaluación de necesidades comunitarias (escala 1–10)-extracto (La matriz completa se incluye en Anexo O).	59
Tabla 13. Pesos globales de criterios sociales.....	60
Tabla 15. Resultados de validación SUS y TAM de MALIS.....	63
Tabla 16. Síntesis de validaciones realizadas en San Antonio El Porvenir.....	63

Índice de Variables

Método	Símbolo	Unidad	Significado
AHP	A	adimensional	Matriz de comparación por pares
AHP	a_{ij}	adimensional	Importancia del criterio i respecto al j
AHP	w	adimensional	Vector de pesos de los criterios
AHP	$\lambda_{\max}$	adimensional	Valor propio máximo de la matriz A
AHP	CI	adimensional	Índice de consistencia
AHP	RI	adimensional	Índice aleatorio (tamaño de la matriz)
AHP	CR	adimensional	Ratio de consistencia (CR = CI/RI)
TOPSIS	v_{ij}	adimensional	Valor ponderado del criterio j para la alternativa i
TOPSIS	A+	adimensional	Solución ideal positiva
TOPSIS	A-	adimensional	Solución ideal negativa
TOPSIS	D_i^+	adimensional	Distancia de la alternativa i al ideal positivo
TOPSIS	D_i^-	adimensional	Distancia de la alternativa i al ideal negativo
TOPSIS	C_i	[0,1]	Coeficiente de proximidad relativo a la solución ideal
VIKOR	f_j^*	variable	Valor ideal del criterio j
VIKOR	f_j^-	variable	Valor anti-ideal del criterio j
VIKOR	S_i	adimensional	Medida de utilidad para la alternativa i
VIKOR	R_i	adimensional	Medida de arrepentimiento para la alternativa i
VIKOR	Q_i	adimensional	Índice de compromiso para la alternativa i
VIKOR	V	adimensional	Peso del grupo para la estrategia de compromiso (usualmente 0.5)
MARCOS	X_{ij}	variable	Valor del criterio j para la alternativa i
MARCOS	ID	variable	Solución ideal
MARCOS	ADI	variable	Solución anti-ideal
MARCOS	K_i^-	adimensional	Utilidad respecto al anti-ideal
MARCOS	K_i^+	adimensional	Utilidad respecto al ideal
MARCOS	K_i	adimensional	Función de utilidad final de la alternativa

Glosario

- **AHP (Analytic Hierarchy Process):** Método de decisión multicriterio que permite asignar pesos a distintos criterios mediante comparaciones por pares, facilitando la priorización de alternativas de forma estructurada.
- **Alternativa tecnológica:** Solución energética concreta (por ejemplo, estufas ecológicas, paneles solares) que puede implementarse para atender una necesidad identificada en una comunidad.
- **Análisis FODA participativo:** Adaptación comunitaria del análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas), donde los actores locales identifican colectivamente sus recursos y desafíos para informar procesos de planeación energética.
- **Autonomía comunitaria:** Grado en que una comunidad puede operar, mantener y decidir sobre el uso de tecnologías sin depender de asistencia técnica externa o decisiones centralizadas.
- **Cosmovisión local:** Sistema de creencias, valores, saberes y prácticas propias de una comunidad, que estructura su relación con el entorno, la naturaleza y las tecnologías.
- **Criterios sociales:** Variables de decisión no cuantificables objetivamente, que capturan dimensiones culturales, organizativas y de percepción comunitaria, cruciales para la sostenibilidad a largo plazo de los proyectos tecnológicos. Se operacionalizan mediante indicadores proxy (ej. equidad de género, autonomía percibida) para su integración en modelos multicriterio.
- **Datos cualitativos:** Información no numérica que se obtiene mediante observación, entrevistas, talleres y otros métodos participativos, y que ayuda a entender contextos y significados sociales.
- **Decolonialidad epistémica:** Es una forma de pensar que busca romper con la imposición de ideas y saberes de las grandes ciudades y propone reconocer y valorar otros saberes, especialmente los de comunidades indígenas, rurales y grupos históricamente ignorados.
- **Equidad energética:** Principio que promueve un acceso justo a los beneficios y cargas de la energía, sans exclusiones por género, clase, etnia o territorio.
- **Etnografía energética:** Enfoque metodológico que estudia las prácticas, significados y relaciones que las personas establecen con la energía en su vida cotidiana, considerando sus realidades culturales, simbólicas y materiales.
- **Evaluación Multicriterio Basada en Percepciones (EMBP):** Enfoque metodológico que utiliza métodos MCDM (como AHP, TOPSIS, VIKOR) para procesar y priorizar

alternativas tecnológicas con base en criterios derivados de las percepciones, valores y conocimientos de la comunidad usuaria, en lugar de solo en datos técnicos objetivos.

- **Factor de Apropiación Tecnológica:** Variable crítica que influye en la adopción y uso sostenible de una tecnología en una comunidad. Incluye dimensiones como la modificabilidad, la relevancia cultural percibida y la confianza en el auto-mantenimiento.
- **ICT4D:** Information and Communication Technologies for Development.
- **Idoneidad Socio-Técnica:** Grado en que una tecnología es percibida como adecuada por una comunidad, evaluando simultáneamente su viabilidad técnica percibida, utilidad económica anticipada y aceptabilidad cultural. Es una métrica de integración tecnológica exitosa en un contexto específico.
- **Indicadores multicriterio:** Conjunto de variables ponderadas que permiten comparar opciones mediante métodos como AHP, MARCOS, TOPSIS o VIKOR.
- **Justicia energética:** Marco ético y político que busca asegurar que todas las personas tengan acceso equitativo, participativo y culturalmente relevante a servicios energéticos, incorporando dimensiones distributiva, procedimental y de reconocimiento.
- **MALIS:** Multi-criterio para el Análisis de Sistemas
- **MARCOS (Measurement of Alternatives and Ranking according to Compromise Solution):** Método MCDM que evalúa alternativas según su cercanía al mejor y peor escenario posible, considerando la ponderación de criterios.
- **Métodos MCDM (Multi-Criteria Decision Making):** Conjunto de metodologías para apoyar decisiones complejas que involucran múltiples criterios. Algunos métodos usados en esta tesis son AHP, MARCOS, TOPSIS y VIKOR.
- **Participación comunitaria:** Proceso mediante el cual los miembros de una comunidad se involucran activamente en la identificación de problemas, diseño de soluciones y toma de decisiones sobre tecnologías energéticas.
- **PGDF (Ponderación General Derivada de Factores):** Resultado del método AHP que permite obtener los pesos relativos de cada criterio con base en datos empíricos o matrices comparativas.
- **Secadores solares híbridos:** Tecnologías utilizadas para deshidratar productos agrícolas (como café) usando fuentes de energía solar combinadas con otras fuentes auxiliares (por ejemplo, biomasa).
- **SER:** Sistemas Energéticos Renovables
- **Software de Soporte a la Decisión (SSD) para Contextos Sociales:** Herramienta computacional (como MALIS) diseñada para asistir en procesos de toma de decisiones .

1. Introducción

Este capítulo introduce la problemática de la implementación de SER en comunidades rurales, caracterizada por una brecha entre los enfoques tecno-económicos predominantes y los factores socioculturales determinantes para la sostenibilidad. Se presenta el desarrollo de una metodología que integra análisis etnográfico con modelos de decisión multicriterio (MCDM) para priorizar tecnologías con base en criterios de idoneidad socio-técnica percibida. Se analizan los antecedentes del problema energético en zonas rurales y las limitaciones de los enfoques tecnocráticos utilizados tradicionalmente, destacando la necesidad de metodologías que operacionalicen los saberes locales y los criterios de justicia energética en herramientas concretas de decisión. Asimismo, se expone la problemática que motiva el estudio, se plantea una hipótesis de trabajo y se justifica la relevancia académica y social de la investigación. Finalmente, se presentan el objetivo general y los objetivos específicos que guían el desarrollo metodológico, analítico y aplicado del estudio, así como la estructura general del documento.

1.1 Entorno y Conceptualización

1.1.1 Definiciones clave

En el marco de esta investigación se definen los siguientes conceptos fundamentales:

- **Sistemas Energéticos Renovables (SER):** tecnologías basadas en recursos renovables como solar, eólica, biomasa o hidráulica, orientadas a cubrir necesidades energéticas de manera sostenible.
- **Justicia energética:** enfoque que prioriza la equidad en el acceso, distribución y gobernanza de la energía (Sovacool & Dworkin, 2015).
- **Apropiación tecnológica:** proceso mediante el cual las comunidades adoptan, adaptan y resignifican tecnologías conforme a su cultura y necesidades (Arturo Escobar, 2008).
- **Metodologías participativas:** estrategias de investigación que promueven la construcción colectiva del conocimiento, como la Investigación Acción Participativa (Chambers, 1994).

- Métodos multicriterio (MCDM): técnicas analíticas para priorizar alternativas bajo múltiples criterios sociales, técnicos y económicos (Hwang & Yoon, 1981; Saaty, 1990).

1.1.2 Clasificaciones y bases conceptuales

- Clasificación de SER: sistemas de electrificación (paneles solares, minihidro, eólica) y sistemas térmicos (estufas eficientes, biodigestores).
- Clasificación de métodos multicriterio: métodos jerárquicos (AHP), de distancia (TOPSIS), de compromiso (VIKOR) y de referencia (MARCOS).
- Enfoques de participación social: diagnóstico participativo, talleres FODA, entrevistas semiestructuradas, validación comunitaria.).

1.2 Antecedentes

1.2.1 Evolución de los enfoques: de lo técnico a lo socio-técnico

La investigación sobre la implementación de energías renovables en comunidades rurales ha evolucionado desde enfoques puramente técnicos hacia metodologías que incorporan dimensiones sociales y culturales. Un estudio clave en este campo es el de (Colmenares-Quintero et al., 2020) quienes analizaron percepciones comunitarias hacia proyectos de energías renovables en diversas regiones del mundo, concluyendo que la aceptación social depende en gran medida de cómo las tecnologías se alinean con las creencias y prácticas locales. Este hallazgo refuerza la necesidad de abordar no solo la viabilidad técnica, sino también las dinámicas socioculturales, un aspecto que fue descuidado en intervenciones tempranas como la documentada por Ruth López (López, 2013), donde la falta de un proceso genuino de apropiación comunitaria dio lugar a una baja aceptación, lo que motivó un replanteamiento de la estrategia de intervención.

Tradicionalmente, la planificación energética ha sido dominada por un paradigma tecnoeconómico enfocado en eficiencia, rentabilidad y expansión de infraestructura, donde el éxito de los proyectos se mide por indicadores cuantitativos como kilowatts instalados o cobertura. Sin embargo, en contextos rurales e indígenas, este enfoque ha demostrado ser insuficiente, ya que invisibiliza los saberes locales, las prácticas tradicionales y las relaciones comunitarias. Autores

como (Arturo Escobar, 2008; Sovacool & Dworkin, 2015) proponen reconfigurar este paradigma desde una perspectiva de justicia energética, que incorpore justicia distributiva, procedimental y de reconocimiento.

Estos aportes coinciden con lo planteado por (Ferrari et al., 2023), quienes sostienen que la transición energética en México no puede ser comprendida sin atender a las desigualdades estructurales históricas entre regiones, entre zonas urbanas y rurales, y entre distintos grupos sociales. En particular, enfatizan que la imposición de tecnologías energéticas "modernas" en comunidades rurales (sin diálogo previo ni reconocimiento de sus propias formas de vida) ha derivado en proyectos inoperantes o rechazados, a pesar de su aparente viabilidad técnica. Como se señala en su diagnóstico nacional, "la sostenibilidad energética no puede ser una imposición vertical, sino una construcción territorializada, plural y políticamente inclusiva" (Ferrari et al., 2024, p. 515). Un análisis de la literatura (Tabla 1;*Error! No se encuentra el origen de la referencia.*) muestra que, si bien el concepto de "aceptación social" ha ganado relevancia, otros criterios clave como la equidad de género o los valores culturales siguen siendo marginales en la evaluación de tecnologías energéticas. Este análisis evidencia un sesgo cuantitativo en la literatura, que prioriza criterios medibles (técnicos, económicos) en detrimento de dimensiones cualitativas cruciales para la sostenibilidad cultural de los proyectos, como la equidad de género o los valores simbólicos. Esta brecha entre lo medible y lo significativo que subraya la necesidad de desarrollar metodologías capaces de operacionalizar estas dimensiones subjetivas en criterios evaluables, que es precisamente el vacío que aborda esta investigación.

Un análisis más profundo de los estudios reveló que la gran mayoría se centraba en proyectos de gran escala, particularmente en instalaciones eléctricas como parques eólicos (68 artículos), o en soluciones de electrificación rural mediante paneles solares (25 artículos). Entre estos últimos, predominaban enfoques técnicos que evaluaban sistemas eléctricos autónomos o conexiones a redes débiles, sin considerar otras necesidades energéticas comunitarias más allá del acceso a electricidad. Esta limitación resulta especialmente problemática, ya que reduce la transición energética rural a un problema meramente eléctrico, ignorando requerimientos igualmente críticos como el acceso a cocción limpia, bombeo de agua o energía para actividades productivas diversas.

Tabla 1. Frecuencia de aparición de criterios sociales en la literatura sobre evaluación de tecnologías energéticas renovables

Criterio social	Descripción	Frecuencia (%)
Aceptación social	Grado de aprobación, resistencia o legitimidad de los proyectos.	23%
Empleo y medios de vida	Generación de trabajo directo o indirecto, impacto económico local.	20%
Impactos en la salud	Efectos positivos o negativos en la salud física o mental de la población.	14%
Gobernanza y participación	Inclusión en decisiones, transparencia, colaboración, conflictos.	12%
Desarrollo social	Mejora en cohesión, infraestructura o calidad de vida.	13%
Equidad de género	Acceso, representación y carga laboral diferenciada entre hombres y mujeres.	6%
Valores culturales y simbólicos	Respeto a tradiciones, espiritualidad, costumbres, lugares sagrados.	3%
Justicia social y equidad	Distribución equitativa de beneficios y reconocimiento de desigualdades.	2%
Educación y concienciación	Capacitación, sensibilización energética, apropiación del conocimiento.	4%
Autonomía y autogestión comunitaria	Capacidad de operar, mantener o replicar tecnologías sin dependencia externa.	3%

1.2.2 Integración de métodos multicriterio (MCDM) y participación

Los Métodos Multicriterio para la Toma de Decisiones (MCDM, por sus siglas en inglés) permiten abordar problemas complejos en los que es necesario evaluar múltiples criterios que, en muchos casos, son cualitativos o no directamente comparables. Estos métodos han sido ampliamente utilizados en ingeniería, gestión ambiental y energías renovables, especialmente cuando deben tomarse decisiones entre varias alternativas y bajo condiciones de incertidumbre o conflicto de intereses (Mardani et al., 2017; Zavadskas et al., 2014).

Estudios como el de (Nigim et al., 2004) demostraron que los MCDM pueden ser útiles para evaluar tecnologías renovables, pero sus aplicaciones iniciales se centraban exclusivamente en criterios técnicos. En contraste, investigaciones más recientes como la de (Arias Alfaro & Alfaro García, 2023) destacan la necesidad de considerar aspectos contextuales como el género, la

comunicación y el poder comunitario. Del mismo modo, enfoques híbridos como el de Terrados et al. (2009), que combinaron análisis FODA con Delphi y AHP, muestran avances hacia evaluaciones más integrales, aunque sin aterrizar en escalas comunitarias concretas.

Un avance significativo lo representa el trabajo de Roberta (Sisto et al., 2022), con su fusión de backcasting y MARCOS, reafirman esta tendencia participativa, pero siguen dejando pendiente la integración con herramientas tecnológicas.

Un análisis de la literatura permitió identificar los MCDM más empleados en proyectos energéticos rurales (Tabla 2). AHP y TOPSIS lideran en frecuencia por su capacidad de jerarquización y simplicidad interpretativa, aunque presentan limitaciones cuando se trata de incorporar criterios cualitativos o realizar análisis participativos.

Tabla 2. Comparativa de métodos MCDM en la literatura revisada (n=101 artículos).

Método	Frecuencia	Ventajas para contextos sociales	Limitaciones identificadas
AHP	38 (37.6%)	- Permite juicios cualitativos	- Matrices complejas para no expertos
		- Ideal para ponderar criterios sociales	- Riesgo de inconsistencias
TOPSIS	21 (20.8%)	- Ranking claro de alternativas	- Sensible a normalizaciones
		- Fácil interpretación visual	- Poca discriminación entre opciones similares
VIKOR	9 (8.9%)	- Excelente para soluciones de compromiso	- Complejidad matemática
		- Considera aceptabilidad grupal	- Requiere umbrales definidos
MARCOS	4 (4.0%)	- Alta discriminación entre alternativas	- Poco difundido en energía rural
		- Incorpora ideales/anti-ideales	- Escasa documentación
ELECTRE	12 (11.9%)	- Manejo de información incompleta	- Poco intuitivo para comunidades
PROMETHEE	8 (7.9%)	- Buen manejo de criterios cualitativos	- Requiere preferencias definidas

Menos frecuentes, pero igualmente relevantes fueron VIKOR, presente en 9 artículos, y MARCOS, utilizado en 4 de los estudios revisados. VIKOR sobresalió en contextos donde se requerían soluciones de compromiso entre criterios en conflicto, mientras que MARCOS demostró ser particularmente útil para mejorar la discriminación entre alternativas con evaluaciones similares, gracias a su enfoque en valores ideales y anti-ideales. Además, la revisión mostró que los estudios sobre comunidades rurales presentan tres carencias fundamentales: asumen que la principal necesidad es la electrificación, evalúan tecnologías desde parámetros puramente técnicos y no incorporan metodologías participativas para identificar prioridades comunitarias. Solo 4 de los 33 artículos sobre contextos rurales mencionaban necesidades más allá del acceso a electricidad, mientras que el 89% se limitaba a criterios como "costo por kWh" o "potencia instalada", sin considerar su adecuación cultural. La discrepancia entre el enfoque predominante en la literatura (electrificación, criterios técnicos) y las necesidades multidimensionales de las comunidades (cocción, bombeo, aspectos culturales) pone de manifiesto una limitación crítica en los modelos de decisión existentes. Esta limitación no es solo temática sino metodológica: la falta de herramientas para traducir prioridades comunitarias cualitativas en entradas estructurados para modelos MCDM. La presente investigación contribuye a salvar esta brecha mediante el desarrollo de un procedimiento sistemático para la captura y ponderación de criterios socio-técnicos basados en percepción comunitaria.

1.2.3 Limitaciones y oportunidades en la integración actual

Si bien la integración de métodos MCDM representa un avance, su aplicación en contextos de alta complejidad sociocultural carece de sistematicidad. La literatura evidencia una brecha crítica: la falta de marcos metodológicos estandarizados que articulen de manera efectiva las herramientas etnográficas y los procesos de validación participativa con los algoritmos de decisión multicriterio.

Autores como (Pellizzoni, 2011) advierten que la tecnificación sin participación reproduce desigualdades estructurales. (Pasqualetti, 2011) introduce el concepto de "paisaje energético", subrayando que las decisiones tecnológicas deben respetar los valores y símbolos colectivos para evitar el rechazo. La necesidad de integrar indicadores cualitativos (autonomía, equidad) y la aceptación social desde el diseño, no como una fase posterior son enfatizados por varios autores

(Rignall, 2016; Wolsink, 2007). Autores como (Sovacool et al., 2015), abogan por una integración transdisciplinaria que considere justicia procedimental y reconocimiento cultural, ideas que resuenan con la crítica de Escobar (2008) a la "violencia epistémica" de las soluciones técnicas impuestas (Arturo Escobar, 2008).

En la búsqueda por operacionalizar la aceptación social, han emergido herramientas estandarizadas que ofrecen métricas cuantitativas. Un referente destacado en este ámbito es el 'Índice de Aceptación Social (IAS) para proyectos de generación eléctrica' (4e Chile, 2022), el cual permite diagnosticar el nivel de aprobación comunitaria mediante una escala numérica agregada (-100 a +100) a partir de indicadores predefinidos. Si bien el IAS representa un avance al visibilizar la dimensión social como un aspecto medible y comparable (especialmente útil para proyectos de gran escala), su enfoque top-down replica, en cierta forma, las limitaciones de los paradigmas tecnocráticos: impone una estructura externa de criterios que puede obviar las construcciones locales de valor, los significados culturales profundos y las dinámicas de poder intracomunitarias. En contextos rurales e indígenas, donde la cosmovisión y la autonomía son centrales, la aplicación de un instrumento como el IAS podría ofrecer un diagnóstico superficial o incluso sesgado, al no capturar criterios emergentes como la 'alineación con la cosmovisión' o la 'confianza en el auto mantenimiento'. Esta limitación de las herramientas existentes para abordar la complejidad cultural constituye una brecha crítica que esta investigación busca abordar

En conjunto, estas limitaciones (la reproducción de desigualdades, la omisión del 'paisaje energético' simbólico y la falta de justicia procedimental) configuran el espacio de oportunidad para esta investigación. El desarrollo de una metodología construida a partir de las percepciones comunitarias pretende responder directamente a estos vacíos.

1.3 Problema

A pesar del consenso teórico sobre la importancia de los factores socioculturales, la planificación de proyectos de energías renovables en comunidades rurales sigue dominada por enfoques tecno-económicos que priorizan criterios cuantitativos, ignorando variables cruciales para la sostenibilidad como la equidad de género, la apropiación cultural y la justicia procedimental. Esta brecha se manifiesta en bajas tasas de adopción tecnológica, observable en contextos como Chiapas mediante la subutilización o abandono de sistemas energéticos. El problema central radica en la falta de un protocolo estandarizado y replicable que traduzca efectivamente las percepciones y valores comunitarios en criterios ponderables para la toma de decisiones, integrando de manera estructurada el conocimiento local con métodos de decisión multicriterio.

A lo anterior se suma la ausencia de herramientas computacionales accesibles y adaptadas al contexto rural, que permitan operacionalizar dichos métodos y facilitar su uso por investigadores, técnicos y comunidades. Esta limitación dificulta la sistematización de la información social y su conversión en insumos concretos para la priorización tecnológica, lo que perpetúa intervenciones técnicamente viables pero social y culturalmente inadecuadas.

1.4 Hipótesis

La implementación de una metodología socio-técnica que operacionaliza percepciones comunitarias mediante análisis etnográfico participativo y su procesamiento de datos mediante métodos multicriterio (AHP, TOPSIS, VIKOR, MARCOS) que sea asistido por una herramienta computacional, generará un ranking de priorización tecnológica con aceptación social, equidad distributiva y sostenibilidad socio-técnica en comparación con los enfoques tecno-económicos tradicionales.

1.5 Justificación

Esta investigación es necesaria debido a la brecha metodológica existente entre los modelos técnico-económicos convencionales de planificación energética y los factores socioculturales que determinan la sostenibilidad de los proyectos en comunidades rurales. Aunque la literatura

reconoce la relevancia de estos factores, aún se carece de protocolos estandarizados que integren de forma sistemática las percepciones comunitarias en los procesos de toma de decisiones.

La importancia de este estudio radica en sus contribuciones en tres dimensiones:

- Académica: Integra marcos teóricos de justicia energética, sistemas socio-técnicos y estudios de género con métodos de decisión multicriterio (MCDM), avanzando hacia enfoques transdisciplinarios.
- Social: Fortalece la participación estructurada de las comunidades en la priorización tecnológica, reconociendo sus saberes y promoviendo la equidad en la toma de decisiones.
- Técnica: Desarrolla una metodología replicable y una herramienta computacional (MALIS) que automatiza la priorización de tecnologías energéticas, incorporando criterios definidos localmente.

Las aportaciones concretas incluyen:

- Un protocolo validado para transformar percepciones comunitarias en criterios ponderables mediante métodos participativos combinados con herramientas MCDM.
- La herramienta MALIS, que captura, procesa y analiza datos sociales para generar recomendaciones técnicas contextualizadas.
- Evidencia empírica sobre la efectividad de enfoques socio-técnicos para fortalecer la legitimidad y sostenibilidad de proyectos energéticos rurales.
- Lineamientos metodológicos para incorporar criterios sociales, culturales y de género en el diseño de políticas públicas en energía.

En conjunto, esta investigación contribuye a una transición energética justa, al articular la viabilidad técnica con la pertinencia cultural, optimizando el uso de recursos e incrementando la efectividad de las intervenciones en comunidades marginadas.

1.6 Objetivo general

Desarrollar y validar una metodología participativa–multicriterio, apoyada en una herramienta computacional, para priorizar SER en comunidades rurales mediante análisis etnográfico con perspectiva de género y captura de percepciones comunitarias.

1.6.1 Objetivos particulares

1. Diseñar una metodología participativa–multicriterio para la priorización de sistemas energéticos renovables (SER).
2. Desarrollar una herramienta computacional para automatizar la metodología y operacionalizar la captura, ponderación y jerarquización de alternativas.
3. Validar la metodología y la herramienta mediante caso de estudio.

1.7 Conclusión

Este capítulo ha delimitado el contexto y la problemática central de la investigación: la desconexión entre enfoques tecnocráticos de planeación energética y las realidades socioculturales de comunidades rurales, que ha limitado la efectividad y sostenibilidad de numerosos proyectos. Ante esta brecha, se plantea la necesidad de una metodología integral que articule saberes comunitarios con herramientas de decisión técnica. Como respuesta, esta tesis propone un modelo de evaluación socio-técnica participativo y con perspectiva de género, el cual es asistido por una herramienta computacional que integra métodos multicriterio (AHP, TOPSIS, VIKOR, MARCOS), orientada a priorizar tecnologías apropiadas, equitativas y sostenibles. La tesis se proyecta como una contribución social, académica y técnica para avanzar hacia una transición energética justa, con base en un modelo replicable y validado en un estudio de caso en Chiapas.

2. Fundamentos Teóricos

Este capítulo establece el andamiaje teórico que sustenta la metodología propuesta, integrando marcos conceptuales, metodológicos y computacionales. Se articula en cuatro secciones: fundamentos conceptuales (justicia energética, sistemas socio-técnicos, apropiación y género); metodológicos (captura y operacionalización de criterios); matemáticos (AHP, TOPSIS, VIKOR, MARCOS); y computacionales y éticos (software, validación y accesibilidad). Este marco garantiza una propuesta técnica robusta, socialmente contextualizada y científicamente fundamentada.

2.1 Fundamentos para el diseño metodológico mixto

El diseño de la metodología socio-técnica propuesta se apoya en la articulación de fundamentos cualitativos y cuantitativos. En el primer caso, se privilegia la interpretación de dimensiones sociales, culturales y organizativas asociadas a la energía; en el segundo, la traducción de estas percepciones en variables medibles y compatibles con modelos de decisión multicriterio. Esta combinación busca garantizar que los criterios comunitarios sean incorporados de manera rigurosa, tanto desde su construcción social como en su integración en modelos analíticos de priorización tecnológica.

2.1.1 Fundamentos de los métodos cualitativos

El marco cualitativo parte de la necesidad de comprender la transición energética en comunidades rurales como un proceso social y cultural, más que como un simple reemplazo tecnológico. Cuatro enfoques conceptuales sustentan esta visión:

1) Justicia energética: La energía no solo debe evaluarse por su eficiencia técnica, sino por su contribución a la equidad distributiva, procedimental y de reconocimiento (Fraser, 2009; Jenkins et al., 2016; Schlosberg, 2013). Este marco garantiza que los beneficios y cargas se repartan de manera justa, que las comunidades participen en la toma de decisiones y que sus saberes y cosmovisiones sean reconocidos.

2) Sistemas socio-técnicos: Según la perspectiva multinivel (Geels, 2002, 2004), los sistemas energéticos son configuraciones híbridas donde tecnologías, instituciones, prácticas y significados evolucionan conjuntamente. En este enfoque, la sostenibilidad de un proyecto depende de su capacidad para integrarse a las estructuras sociales y culturales existentes, lo que justifica la incorporación de criterios como la autonomía comunitaria y la alineación cultural.

3) Apropiación tecnológica comunitaria. Más allá de la adopción, la apropiación describe el grado en que una tecnología es comprendida, utilizada y resignificada por la comunidad en su vida cotidiana. Factores como la reparabilidad, la utilidad percibida, el significado cultural y la autonomía de gestión determinan la sostenibilidad de largo plazo (Barón & Gómez, 2012; Mansell, 1997; Oudshoorn & Pinch, 2005).

4) Interseccionalidad y género. El acceso, uso y control de la energía no son neutrales al género, y están atravesados por condiciones de clase, etnia y edad (Clancy & Feenstra, 2019; Crenshaw, 1991). El diseño metodológico debe integrar estas dimensiones para evitar reproducir desigualdades y, en su lugar, promover relaciones más equitativas mediante la inclusión deliberada de criterios de género en la evaluación tecnológica (Moser, 2010).

En conjunto, estos enfoques cualitativos aportan el sustento conceptual necesario para que la identificación de criterios sociales refleje las realidades y aspiraciones de las comunidades, evitando visiones tecnocráticas reduccionistas.

En términos operativos, la aplicación de estos enfoques requiere de técnicas que permitan trasladar percepciones comunitarias al proceso de priorización tecnológica. Entre ellas, el análisis FODA participativo ha demostrado ser una herramienta efectiva para identificar fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas desde la visión de distintos actores sociales. A diferencia de su uso convencional en el ámbito empresarial, el FODA participativo se adapta a dinámicas colectivas que facilitan la construcción de consensos y la integración de múltiples perspectivas (Colmenares-Quintero et al., 2020; Terrados et al., 2009). En este sentido, constituye un puente metodológico entre los enfoques cualitativos descritos y la estructuración posterior de criterios sociales para la toma de decisiones multicriterio

2.1.2 Fundamentos de los métodos cuantitativos

Traducir percepciones sociales en variables cuantificables permite integrar la voz comunitaria en modelos analíticos de decisión. Este proceso implica:

- **Codificación temática y categorización** de narrativas obtenidas en campo, para identificar categorías emergentes que luego son traducidas en variables.
- **Definición de indicadores y escalas**, generalmente tipo Likert que permite transformar juicios subjetivos en valores numéricos, facilitando su integración posterior en modelos multicriterio. De este modo, la escala actúa como un mecanismo de traducción entre el nivel cualitativo de las narrativas y el nivel cuantitativo requerido por los métodos de decisión (Denzin, 2017; Strauss & Corbin, 1998).

Estos indicadores constituyen la base de una matriz de decisión que puede ser procesada mediante Métodos de Decisión Multicriterio (MCDM). Los principales fundamentos de los métodos utilizados son:

- **AHP**

Los fundamentos para la ponderación de criterios fue desarrollado por (Saaty, 1990), el AHP se fundamenta en la teoría de juicios pareados y el álgebra de matrices para descomponer un problema complejo en una jerarquía y derivar pesos de importancia para los criterios. Su solidez teórica radica en su capacidad para manejar juicios subjetivos de manera consistente. El método se basa en la construcción de una matriz de comparación pareada A , donde cada elemento a_{ij} representa la importancia relativa del criterio i sobre el criterio j . El vector de pesos w se obtiene resolviendo el problema de auto vectores:

$$A \cdot w = \lambda_{\max} \cdot w \quad (1)$$

donde $\lambda_{\max}$ es el autovalor principal. La consistencia de los juicios se valida mediante el Índice de Consistencia (CI) y el Ratio de Consistencia (CR):

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n - 1)} \quad (2)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (3)$$

Donde RI es el índice aleatorio. Un $CR \leq 0.10$ se considera aceptable (Saaty, 1990). Esta base teórica lo convierte en el método ideal para transformar percepciones subjetivas en pesos cuantitativos.

- **TOPSIS**

Los fundamentos para la proximidad al ideal fue desarrollado por (Hwang & Yoon, 1981), el método TOPSIS se sustenta en el concepto de que la mejor alternativa debe estar lo más cerca posible de la Solución Ideal Positiva (SIP) y lo más lejos posible de la Solución Ideal Negativa (SIN). Teóricamente, esto se logra mediante los siguientes pasos:

- Normalización vectorial de la matriz de decisión:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n x_{ij}^2)}} \quad (4)$$

-Ponderación de la matriz normalizada:

$$v_{ij} = r_{ij} * w_j \quad (5)$$

- Determinación de las soluciones ideal positiva (A+) y ideal negativa (A-):

$A+ = \{v_{1+}, v_{2+}, \dots, v_{n+}\}$ donde $v_{j+} = \max(v_{ij})$ si el criterio es de beneficio, $\min(v_{ij})$ si es de costo.(6)

$A- = \{v_{1-}, v_{2-}, \dots, v_{n-}\}$ donde $v_{j-} = \min(v_{ij})$ si el criterio es de beneficio, $\max(v_{ij})$ si es de costo.(7)

- Cálculo de las distancias euclidianas a A^+ y A^- :

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A^+)^2} \quad (8)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - A^-)^2} \quad (9)$$

- Cálculo de la proximidad relativa a la solución ideal:

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-} \quad (10)$$

El valor de C_i oscila entre 0 y 1, donde 1 indica la mayor proximidad al ideal. Este fundamento lo hace ideal para ranquear alternativas de forma intuitiva y geométrica.

- **VIKOR**

Los fundamentos para el compromiso grupal fue desarrollado por (Opricovic & Tzeng, 2004), el método VIKOR se fundamenta en la programación compromiso para resolver problemas con criterios conflictivos. Su base teórica es la búsqueda de una solución que logre un compromiso aceptable maximizando la utilidad grupal y minimizando el arrepentimiento individual. Esto se opera a través de:

- Determinación de los valores ideal (f_j^*) y anti-ideal (f_j^-):

$$f_j^* = \max(x_{ij}), f_j^- = \min(x_{ij}) \quad (11)$$

- Cálculo de las medidas de utilidad (S_i) y de arrepentimiento (R_i):

$$S_i = \sum w_j * \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad (12)$$

$$R_i = \max_j \left[w_j * \frac{f_j^* - x_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right] \quad (13)$$

- Cálculo del índice de compromiso (Q_i):

$$Q_i = v * \frac{(S_i - S^*)}{(S - S^*)} + (1 - v) * \frac{(R_i - R^*)}{(R - R^*)} \quad (14)$$

donde:

$S^* = \min(S_i)$, $S - = \max(S_i)$, $R^* = \min(R_i)$, $R - = \max(R_i)$ y v es el peso para la estrategia de máxima utilidad grupal (usualmente $v = 0.5$).

Una alternativa es preferible si tiene un Q_i menor y cumple condiciones de aceptabilidad y estabilidad. Esta base teórica lo hace superior para contextos sociales donde la negociación y el consenso son primordiales.

• MARCOS

Los fundamentos para la discriminación entre alternativas cercanas: Propuesto por (Stević et al., 2020), MARCOS se fundamenta en establecer relaciones entre las alternativas y los puntos de referencia ideales (ID) y anti-ideales (ADI). Su solidez teórica radica en su función de utilidad:

- Ampliación de la matriz de decisión con los ideales (ID) y anti-ideales (ADI).

- Normalización de la matriz extendida. Para criterios de beneficio:

$$\text{Maximizar: } x_{ij}^{norm} = \frac{x_{ij}}{x_j^{best}} \quad (15)$$

$$\text{Minimizar: } x_{ij}^{norm} = \frac{x_j^{worst}}{x_{ij}} \quad (16)$$

- Ponderación de la matriz normalizada:

$$x_{ij}^{pond} = x_{ij}^{norm} * w_j \quad (17)$$

- Cálculo de las utilidades de las alternativas respecto al ADI ($K_i -$) y al ID ($K_i +$):

$$K_i - = \frac{S_i}{S_{adi}} \quad (18)$$

$$K_i + = \frac{S_i}{S_{id}} \quad (19)$$

donde $S_i = \sum_{j=1}^n v_{ij}$ es la suma ponderada de cada alternativa.

- Cálculo de la función de utilidad final de la alternativa (K_i):

$$K_i = \frac{(K_i^- + K_i^+)}{[1 + (1 - K_i^+)/K_i^+ + \frac{(1 - K_i^-)}{K_i^-}]} \quad (20)$$

El valor de K_i oscila entre 0 y 1, y las alternativas se ranquean en orden descendente de K_i . Esto lo convierte en una herramienta valiosa para validar y refinar rankings donde otros métodos pueden mostrar empates o resultados muy ajustados.

- **Fundamentos de la Triangulación por Fusión de Rankings**

La práctica de integrar múltiples métodos MCDM mediante la fusión de sus rankings (p. ej., promedio de posiciones) está teóricamente sustentada en el principio de triangulación metodológica (Denzin, 2017). En el contexto MCDM, esta estrategia, avalada por autores como (Zavadskas et al., 2014), permite aumentar la robustez y confiabilidad de los resultados al minimizar las limitaciones y sesgos inherentes a cada método individual. El promedio de rankings

$$R_{final_i} = \frac{R_{VIKOR_i} + R_{MARCOS_i} + R_{TOPSIS_i}}{3} \quad (21)$$

es una de las técnicas de agregación más estables y sencillas, recomendada cuando no hay razón para ponderar un método sobre otro.

En conjunto, la complementariedad teórica de estos métodos (AHP para pesos consistentes, TOPSIS para proximidad al ideal, VIKOR para compromiso grupal, MARCOS para alta discriminación y la Triangulación para robustez) provee una base sólida para diseñar una metodología que pueda traducir percepciones sociales complejas en una priorización técnica legítima y confiable.

2.2 Fundamentos para el desarrollo de Software

El desarrollo de una herramienta computacional accesible, portable y científicamente reproducible constituye un eje estratégico para la materialización práctica de la metodología propuesta. Este módulo no solo operacionaliza los algoritmos de priorización, sino que habilita su transferencia a actores diversos, permitiendo su uso autónomo en comunidades rurales, gobiernos locales o proyectos colaborativos. Esta sección se divide en tres pilares: (1) selección de lenguaje y librerías científicas, (2) principios de ICT4D y metodologías ágiles, y (3) estrategias de verificación de algoritmos y portabilidad.

2.2.1 Lenguaje y ecosistema computacional

La selección de Python como lenguaje de programación central se fundamenta en su ecosistema robusto para computación científica y su baja barrera de entrada. Python ofrece una sintaxis clara y legible, lo que facilita el mantenimiento y la replicación del código por parte de otros investigadores o practicantes (Rossum & Drake, 2010). Más importante aún, su ecosistema cuenta con librerías especializadas que son estándar de facto en la comunidad científica:

- NumPy y SciPy: Para la implementación eficiente de operaciones matemáticas y algebraicas complejas requeridas por los algoritmos MCDM (AHP, TOPSIS, VIKOR, MARCOS) (Harris et al., 2020) proporciona estructuras de datos eficientes para matrices (como tablas de filas y columnas) y una amplia colección de funciones matemáticas, mientras que SciPy se construye sobre NumPy para ofrecer módulos de optimización, álgebra lineal, integración, interpolación y otras tareas propias de la computación científica.
- Pandas: Para la manipulación estructurada y el análisis de datos. Permite la gestión eficiente de los datos de entrada (matrices de criterios, evaluaciones de alternativas) y los resultados intermedios y finales mediante sus estructuras DataFrame, que funcionan como tablas de datos con filas y columnas etiquetadas (similares a una hoja de cálculo de Excel), facilitando enormemente la organización, el cálculo de promedios, y Series facilitan la limpieza, transformación y agregación de datos (McKinney, 2010).

- OpenPyXL o similares: Para la generación automatizada de reportes en formatos ampliamente accesibles (como Excel), facilitando la interacción con usuarios finales que pueden no tener experiencia en entornos de programación.

Para la creación de la interfaz gráfica de usuario (GUI), se utilizó Tkinter, un módulo nativo de Python que permite desarrollar GUIs livianas, funcionales y sin dependencias externas, sin necesidad de instalar nada adicional aparte del propio Python, lo cual favorece su portabilidad y ejecución en entornos de baja infraestructura.

Esta combinación única de facilidad de uso y poder computacional posiciona a Python como la plataforma ideal para operacionalizar un modelo híbrido socio-técnico.

2.2.2 Principios de ICT4D para el desarrollo de software

El diseño de la herramienta se guió por los principios de Tecnologías de la Información y Comunicación para el Desarrollo (ICT4D) (Heeks, 2018), los cuales enfatizan que las soluciones tecnológicas deben ser:

- Apropriadadas: Adaptadas al contexto y recursos limitados de entornos rurales. Esto se traduce en un diseño de software de bajo consumo de recursos computacionales (procesador, memoria RAM), asegurando que pueda ejecutarse en hardware modesto o antiguo, común en estas áreas.
- Accesibles: La GUI, desarrollada con Tkinter, fue diseñada para guiar al usuario paso a paso por el flujo de trabajo metodológico, minimizando la curva de aprendizaje y evitando la necesidad de ingresar comandos por terminal.
- Escalables y Mantenibles: Desarrolladas con una arquitectura de software modular (separando lógica de interfaz, lógica de negocio -algoritmos MCDM- y gestión de datos), que permita su modificación, mejora y adaptación a nuevos contextos por parte de terceros. El desarrollo se gestionó utilizando el entorno de desarrollo integrado Visual Studio Code, aprovechando sus herramientas para depuración, control de versiones (Git) y cumplimiento de estándares de estilo de código (PEP 8).

Para facilitar la distribución y uso autónomo del software, eliminando la barrera de instalar y configurar un entorno Python, se utilizó PyInstaller para generar archivos ejecutables autocontenidos (.exe para Windows, y binarios equivalentes para otros sistemas operativos). Este empaquetado incluye el intérprete de Python, las librerías dependientes y el código fuente, garantizando que todos los usuarios ejecuten la misma versión consistente del software sin requisitos técnicos previos.

2.2.3 Metodologías ágiles y control de versiones para la calidad del código

El desarrollo se gestionó bajo un enfoque ágil iterativo, estructurado en períodos de tiempo corto y fijo de diseño-implementación-validación. Este ciclo permitió la incorporación de retroalimentación temprana y el refinamiento incremental del software. Para garantizar la calidad del código, el desarrollo se realizó en el IDE Visual Studio Code que asegura la trazabilidad completa del desarrollo y la capacidad de replicación del proceso. Identifica y corrige de manera sistemática los errores de lógica y ejecución. Y garantiza la legibilidad, consistencia y mantenibilidad del código.

2.2.4 Estrategia de portabilidad y replicabilidad

Para garantizar la portabilidad y eliminar dependencias del entorno, la herramienta se distribuye como un ejecutable autocontenido. Mediante la librería PyInstaller (PyInstaller Development Team, 2021), se genera un binario (.exe) que empaqueta el intérprete Python, todas las librerías dependientes y el código fuente. Esta estrategia ofrece ventajas operativas críticas:

- Portabilidad absoluta: El ejecutable opera independientemente de una instalación previa de Python.
- Consistencia de entorno: Elimina la variabilidad y los errores asociados a diferencias en configuraciones o versiones de librerías.
- Minimización de la fricción de uso: Permite la ejecución directa mediante doble clic, facilitando la adopción por usuarios finales no técnicos.

2.2.5 Implementación y verificación de algoritmos MCDM (AHP, TOPSIS, VIKOR, MARCOS)

Cada algoritmo MCDM (AHP, TOPSIS, VIKOR, MARCOS) se implementó como un módulo independiente y fue verificado para asegurar su corrección matemática. El protocolo de verificación incluyó:

- Validación con casos de prueba estandarizados: Se utilizaron matrices y conjuntos de datos de la literatura académica con soluciones conocidas para verificar que los outputs de cada algoritmo coincidieran con los resultados de referencia.
- Cálculo integral de consistencia en AHP: El módulo AHP calcula el Índice de Consistencia (CI) y la Razón de Consistencia (CR), invalidando matrices con $CR > 0.1$ y alertando al usuario para su revisión (Saaty, 1990).
- Análisis de sensibilidad integrado: Se implementó una funcionalidad para perturbar las ponderaciones de los criterios ($\pm\Delta w$) y evaluar la estabilidad del ranking resultante, cuantificando así la robustez de la recomendación.

La arquitectura modular permite la hibridación controlada de métodos: los pesos vectoriales de salida del AHP sirven como entrada para los algoritmos de ranking (TOPSIS, VIKOR, MARCOS). Esta integración sistemática aprovecha las ventajas comparativas de cada método, produciendo un resultado de priorización más confiable y robusto que el obtenido por cualquier método individual.

2.3 Fundamentos para la validación de herramientas

La validación de un modelo socio-técnico y su instrumentación computacional requiere un protocolo que evalúe simultáneamente su validez interna (corrección técnica) y externa (utilidad y aplicabilidad en contexto real). Este proceso se sustenta en un marco de validación multidimensional que integra principios de la ingeniería de software, la investigación en sistemas de soporte a decisiones y las ciencias sociales aplicadas.

2.3.1 Estudio de caso único como estrategia de validación empírica

La validación empírica se condujo mediante la metodología de estudio de caso único instrumental (Stake, 1995; Yin, 2018). Esta estrategia es la más adecuada para investigar un fenómeno contemporáneo ("el cómo") dentro de su contexto de vida real, especialmente cuando los límites entre el fenómeno de estudio (el proceso de priorización) y su contexto (la comunidad) no son claramente discernibles (Yin, 2018, p. 18). El caso único, la comunidad de San Antonio El Porvenir, Chiapas, actúa como un instrumento para proporcionar datos de entrada sobre un problema más amplio: la efectividad de la metodología propuesta. Este diseño permite una triangulación de fuentes de evidencia (datos de la herramienta, observación, encuestas, entrevistas), que es fundamental para construir la validez constructiva e interna del estudio (Yin, 2018, p. 134). La replicación analítica de los hallazgos, más que la replicación estadística, es el objetivo de esta estrategia.

2.3.2 Métricas para la evaluación de sistemas de soporte a decisiones

La evaluación se articula en tres dimensiones validadas por la literatura:

1) Robustez Algorítmica y Validez Interna: La corrección de los modelos MCDM se verifica mediante:

- Pruebas de Consistencia del AHP: El cálculo del Índice de Consistencia (CI) y la Razón de Consistencia (CR) es un requisito inherente al método AHP para validar la coherencia de los juicios subjetivos. Una $CR < 0.10$ confirma la aceptabilidad de la matriz de comparaciones pareadas (Saaty, 1990).

2) Usabilidad Percibida: La facilidad de uso de la herramienta software, un predictor crítico de su adopción, se mide mediante la Escala de Usabilidad del Sistema (SUS). El SUS es un instrumento estandarizado, robusto y ampliamente adoptado que proporciona una puntuación global de usabilidad en una escala de 0 a 100 a partir de 10 ítems con respuesta Likert. Una puntuación $SUS \geq 68$ se considera sobre la media e indica una usabilidad aceptable (Brooke, 1996).

3) Utilidad Percibida y Validez Externa: La efectividad práctica del sistema se evalúa basándose en el Modelo de Aceptación de Tecnología (TAM) (Davis, 1989). El TAM postula que la adopción de una herramienta está determinada por la utilidad percibida (grado en que el usuario cree que la herramienta mejorará su desempeño) y la facilidad de uso percibida. Estos constructos se operacionalizan mediante un cuestionario ad-hoc que mide la percepción de los usuarios sobre la relevancia, claridad y confiabilidad de los resultados, así como la capacidad de la herramienta para mejorar el proceso de decisión.

2.3.3 Evaluación de la confiabilidad del proceso participativo

La validez de la fase cualitativa (la transformación de percepciones en datos estructurados) se asegura mediante técnicas establecidas de investigación social:

- Triangulación Metodológica: Esta técnica, fundamental para garantizar la validez en investigación cualitativa, implica cruzar múltiples fuentes de datos (entrevistas, talleres, observación) para confirmar la consistencia de los hallazgos y minimizar los sesgos de un método único (Denzin, 2017).
- Member Checking (Validación por los Participantes): La presentación de los resultados interpretados (e.g., los pesos de los criterios) a los miembros de la comunidad para su confirmación o rectificación es una práctica crucial para establecer la validez catalítica y asegurar que los resultados reflejan fielmente las perspectivas comunitarias (Lincoln & Guba, 1985).
- Confiabilidad Inter-Jueces: Cuando múltiples grupos realizan ponderaciones, el grado de acuerdo se puede cuantificar estadísticamente mediante coeficientes de concordancia como el Coeficiente de Correlación de Spearman (para rankings) o Kendall's W, proporcionando una medida de la confiabilidad de los datos de entrada para el AHP (Field, 2009).

2.3.4 Protocolos éticos para la recolección de datos en contextos comunitarios

Todo proceso se rige por un estricto protocolo ético alineado con los principios internacionales de investigación con seres humanos (Declaración de Helsinki, CIOMS) y los estándares para trabajo en comunidades indígenas y rurales. El protocolo se basa en:

- Consentimiento Previo, Libre e Informado (CPLI): Adaptado cultural y lingüísticamente, asegura que la participación sea voluntaria y basada en una comprensión clara de los objetivos y procesos (Council for International Organizations of Medical Sciences & World Health Organization, 2016).
- Principio de Reciprocidad y Beneficio: El diseño sigue un modelo de investigación-acción participativa (Fals-Borda, 1987), donde el conocimiento generado revierte directamente en la comunidad, y asegurando que el proyecto responda a sus necesidades e intereses.

2.3.5 Conclusión

Los fundamentos teóricos presentados establecen el marco conceptual, metodológico y computacional que sustenta la investigación, articulando enfoques cualitativos como la justicia energética, la apropiación comunitaria y la perspectiva de género, junto con técnicas participativas como el FODA y la escala Likert, y métodos multicriterio como AHP, TOPSIS, VIKOR y MARCOS. Asimismo, la incorporación de herramientas computacionales en Python, incluyendo librerías de análisis, interfaz y visualización, refuerza la viabilidad técnica de la propuesta. Estos elementos configuran la base necesaria para el diseño metodológico que se desarrolla en el siguiente capítulo.

3. Metodología

La Figura 1 representa el flujo general de la metodología desarrollada en la investigación, organizada en tres fases principales que responden a los objetivos específicos del estudio, el diseño participativo de la metodología corresponde a la recolección de información cualitativa directamente desde las comunidades mediante entrevistas, talleres y diagnósticos participativos, la información obtenida es organizada y transformada en criterios sociales evaluables.

El desarrollo de la herramienta computacional MALIS se construye para permitir procesar los criterios definidos en la fase anterior, aplicando métodos multicriterio (AHP, TOPSIS, VIKOR, MARCOS) para generar rankings de alternativas tecnológicas.

Y la validación metodológica mediante estudio de caso consiste en aplicar la metodología y la herramienta en una comunidad específica. A través de este caso práctico se verifica la robustez técnica del software, así como la pertinencia y aceptación social de los resultados.

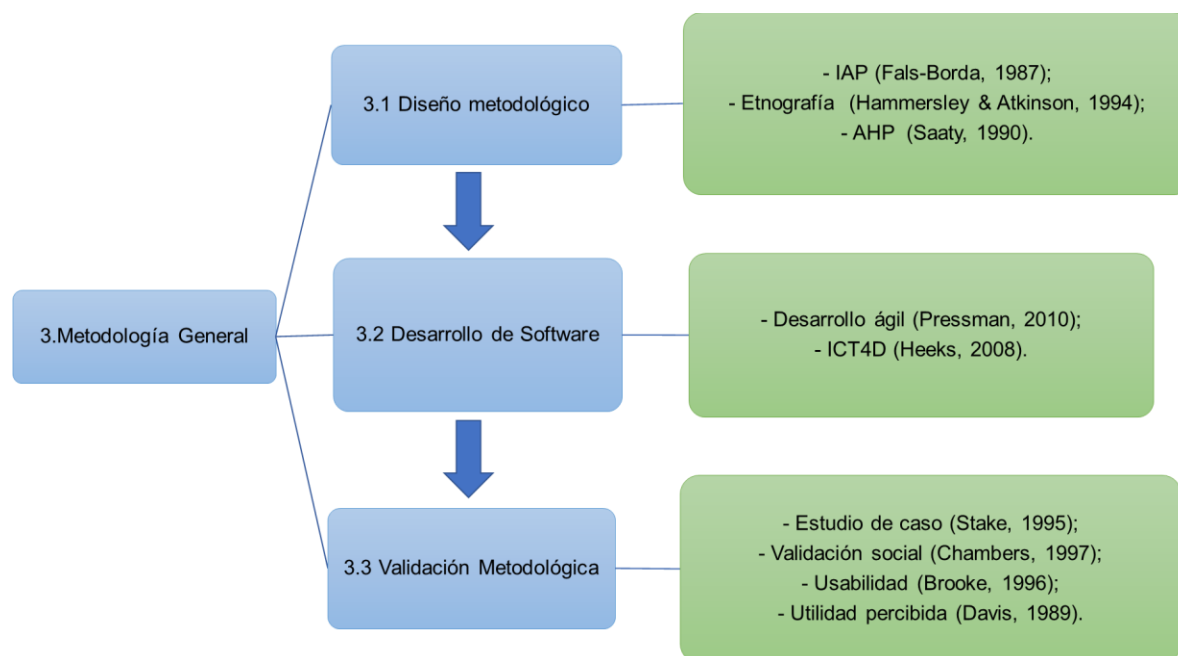


Figura 1. Diagrama de flujo metodológico de la investigación por objetivos específicos.

3.1 Diseño de la metodología participativa de priorización

La primera fase de la investigación correspondió al diseño metodológico participativo, cuyo propósito fue recoger y traducir las percepciones comunitarias en insumos sociales para el análisis multicriterio. Para ello se implementaron procedimientos de carácter exploratorio y participativo que garantizaron la incorporación de la visión local en la propuesta metodológica. Para ello se implementó un proceso secuencial que combinó talleres colectivos y entrevistas semiestructuradas, hasta llegar a la propuesta de la metodología.

3.1.1 Tipo y enfoque de estudio

La investigación adoptó un enfoque mixto socio-técnico, con integración de métodos cualitativos y cuantitativos. Se empleó la Investigación Acción Participativa (IAP) como estrategia para incorporar la visión comunitaria, combinada con métodos de decisión multicriterio (MCDM) para la priorización de alternativas tecnológicas.

3.1.2 Procedimiento realizado

El proceso metodológico participativo se desarrolló en 4 pasos:

Paso 1. Selección de área de estudio

Se estableció contacto con autoridades y líderes comunitarios, explicando los alcances de la investigación y obteniendo el consentimiento informado, de acuerdo con principios éticos de respeto cultural (Ferrari et al., 2023).

Paso 2. Talleres participativos de diagnóstico

Se organizaron talleres colectivos con distintos grupos sociales (mujeres, hombres y jóvenes), aplicando la lógica estratégica propuesta por (Terrados et al., 2009).

Paso 3. Entrevistas semiestructuradas

Se aplicaron guías cualitativas para explorar percepciones sobre energía, organización social y expectativas comunitarias (Creswell, 2009).

Paso 4. Proponer una metodología socio-técnica.

Con la obtención de información de los casos de estudio de la comunidad de proponer una metodología para el desarrollo de proyectos para la implementación de SER.

3.1.3 Técnicas e instrumentos utilizados

Para la fase de diseño metodológico participativo se empleó un conjunto de instrumentos que facilitaron tanto la recolección de información como su posterior análisis:

- **Instrumentos de recolección de datos cualitativos:** guías de entrevistas semiestructuradas, formatos de talleres participativos, actas y notas de campo, grabaciones y transcripciones textuales.
- **Instrumentos de sistematización y análisis:** matrices en Excel para codificación inductiva, categorización temática y construcción de insumos para el análisis multicriterio.

3.1.4 Población y muestra

La población de referencia correspondió a dos comunidades rurales de Chiapas: San Antonio El Porvenir y Azapac. Ambas fueron consideradas en la etapa inicial de acceso y diagnóstico, con el fin de contrastar condiciones sociales, organizativas y energéticas que pudieran orientar la propuesta metodológicas.

3.1.5 Estrategia de análisis

La estrategia de análisis se planteó como un proceso progresivo de traducción de insumos cualitativos en estructuras analíticas sistemáticas. Las narrativas generadas en talleres y entrevistas fueron organizadas en matrices de registro, lo que permitió su codificación temática y la identificación de dimensiones sociales relevantes. Estas dimensiones se planificaron para ser formalizadas en criterios sociales de evaluación, con el propósito de fundamentar la propuesta de una metodología socio-técnica orientada a la implementación de sistemas energéticos renovables (SER) en comunidades rurales.

3.1.6 Justificación metodológica

El diseño metodológico buscó articular la voz comunitaria con herramientas analíticas robustas, garantizando la pertinencia cultural y social en la priorización tecnológica. Este enfoque se alinea con principios de justicia energética (Sovacool & Dworkin, 2015) y con prácticas de planeación participativa en energías renovables (Terrados et al., 2009).

3.2 Desarrollo de la herramienta computacional MALIS

La segunda fase de la investigación consistió en el desarrollo de la herramienta computacional MALIS para integrar los criterios sociales obtenidos en campo con métodos multicriterio de decisión. El objetivo fue construir un software que sistematizara el análisis y facilitara la obtención de resultados reproducibles y accesibles para actores comunitarios y técnicos.

3.2.1 Tipo de estudio

El desarrollo del software siguió un enfoque experimental y aplicado, bajo principios de ICT4D y metodologías ágiles de programación.

3.2.2 Procedimiento realizado

El proceso de construcción del software se estructuró en cinco etapas principales:

- 1. Levantamiento de requisitos funcionales:** como registrar criterios sociales, procesar comparaciones de AHP, ejecutar diferentes métodos multicriterio y generar salidas exportables.
- 2. Diseño de la arquitectura modular:** Interfaz gráfica (GUI) para captura de datos y navegación. Procesamiento, encargado de la ejecución de algoritmos. Visualización, que prepara resultados en tablas y gráficos. Exportación, que genera reportes en formatos estándar (Excel, PDF).
- 3. Integración de algoritmos multicriterio:** AHP, MARCOS, TOPSIS y VIKOR.
- 4. Pruebas y validación técnica:** pruebas de consistencia matemática y validación de resultados, como recomiendan estudios recientes de aplicación de métodos multicriterio en energías

renovables (Sisto et al., 2022). Esto para asegurar que la herramienta sea confiable y replicable antes de su aplicación en campo.

5. Preparación de versión ejecutable.

3.2.3 Técnicas y herramientas utilizadas

- Lenguaje de programación: Python.
- Bibliotecas: numpy, pandas, matplotlib, tkinter.
- Metodología de desarrollo: ágil e iterativa.
- Pruebas de validación: consistencia matemática, validación cruzada y comparación de algoritmos.
- Distribución: empaquetado en formato ejecutable portátil (.exe).

3.2.4 Justificación de decisiones tecnológicas

La elección de Python se fundamentó en su portabilidad, disponibilidad de librerías para análisis multicriterio y facilidad de uso en contextos de bajo acceso tecnológico. El diseño ágil permitió avanzar en ciclos iterativos de programación, prueba y ajuste, garantizando que el software respondiera a los requerimientos funcionales definidos.

3.3 Validación metodológica mediante estudio de caso

La tercera fase de la investigación correspondió a la validación empírica de la metodología y del software en un estudio de caso. El proceso se organizó en tres dimensiones complementarias de validación: 1. Técnica, mediante pruebas de consistencia y sensibilidad de los algoritmos. 2. Social, a través de la presentación y discusión de resultados en asamblea comunitaria. 3. De usabilidad y utilidad percibida.



Figura 2. *Proceso de validación de la metodología y la herramienta MALIS.*

El diagrama (Figura 2) muestra un flujo iterativo en el que los resultados generados por el software fueron contrastados con la comunidad y evaluados desde la perspectiva de los usuarios. Esta fase metodológica será explicada paso a paso en el subcapítulo 3.3.2 Procedimiento realizado.

3.3.1 Tipo de estudio

Se aplicó un estudio de caso único instrumental (Stake, 1995; Yin, 2018), utilizando la comunidad de San Antonio El Porvenir como contexto empírico para validar la metodología y la herramienta desarrollada.

3.3.2 Procedimiento realizado

El procedimiento seguido para la validación contempló los siguientes pasos:

1. **Selección del caso.** Se eligió la comunidad de San Antonio El Porvenir, estableciendo límites espaciales, sociales y organizativos que orientaron la aplicación metodológica.

2. **Planteamiento de preguntas de validación.** Se formularon preguntas orientadas a analizar:
(i) la pertinencia del marco metodológico, (ii) la funcionalidad del software y (iii) la aceptación comunitaria de los resultados.
3. **Recopilación de información.** Se aplicó triangulación de fuentes a partir de entrevistas, talleres participativos, matrices AHP, actas comunitarias, cuestionarios SUS/TAM y observación directa.
4. **Análisis de datos.** Los datos cualitativos fueron codificados y categorizados, mientras que los datos cuantitativos fueron procesados con métodos multicriterio (AHP, TOPSIS, MARCOS, VIKOR).
5. **Evaluación colectiva.** Los resultados preliminares fueron contrastados en asambleas comunitarias, generando retroalimentación sobre fortalezas, debilidades y viabilidad de las tecnologías priorizadas.
6. **Validación final.** Se empleó triangulación de datos, revisión de expertos y retroalimentación comunitaria para comprobar la coherencia y solidez del proceso.

3.3.3 Instrumentos y técnicas

La validación utilizó un conjunto de instrumentos y técnicas complementarias:

- Matrices AHP, para calcular pesos de criterios y verificar índices de consistencia.
- Análisis de sensibilidad, para evaluar la estabilidad de los resultados ante variaciones en los pesos.
- Actas y relatorías comunitarias, que registraron discusiones y consensos.
- Escala SUS (System Usability Scale) para medir facilidad de uso del software.
- Cuestionario TAM (Technology Acceptance Model, dimensión utilidad percibida), adaptado al contexto comunitario.

3.3.4 Población y muestra

La validación incluyó a los 45 participantes originales (12 mujeres y 33 hombres), más un grupo ampliado de líderes comunitarios que participaron en la asamblea general. La muestra fue

intencional y no probabilística, con el fin de garantizar diversidad de perspectivas sociales y roles comunitarios.

3.3.5 Estrategia de análisis

El análisis se estructuró en tres dimensiones:

- **Técnica:** verificación de índices de consistencia ($CR \leq 0.1$ en AHP) y análisis de sensibilidad de rankings.
- **Social:** análisis cualitativo de percepciones y consensos obtenidos en talleres y asambleas.
- **Usabilidad y utilidad:** análisis de los puntajes de SUS y TAM, complementados con observaciones cualitativas sobre la interacción comunitaria con la herramienta.

3.3.6 Justificación metodológica

La validación multidimensional permitió garantizar que la herramienta MALIS no solo fuera técnicamente robusta, sino también socialmente legítima y aceptada por los potenciales usuarios. Esto asegura la pertinencia de la metodología para futuros procesos de planeación energética participativa, en línea con los principios de justicia energética planteados por (Sovacool & Dworkin, 2015).

3.4 Conclusión de la metodología

Estos procedimientos garantizan el desarrollo de una metodología participativa–multicriterio, acompañada de su herramienta computacional, capaz de operacionalizar la captura, ponderación y priorización de alternativas tecnológicas de manera sistemática y transparente.

4. Resultados

Este capítulo presenta los resultados de la investigación, organizados de acuerdo con los objetivos específicos planteados en el Capítulo 1. En la primera parte se exponen los resultados del diseño de una metodología participativa–multicriterio, concebida como marco sistemático para la priorización de sistemas energéticos renovables. Posteriormente, se presentan los resultados del desarrollo de la herramienta computacional MALIS, destacando su arquitectura lógica, módulos principales y funcionalidades implementadas. En tercer lugar, se muestran los resultados de la validación empírica en la comunidad de San Antonio El Porvenir, Chiapas, que incluyen el diagnóstico participativo, la construcción y ponderación de criterios, los rankings tecnológicos generados, así como la validación social, técnica y de usabilidad (SUS y TAM). Finalmente, se incorpora un caso comparativo que permite contrastar alcances y limitaciones de la propuesta.

4.1 Resultados del diseño de la metodología

El primer resultado de esta investigación corresponde al diseño de la metodología participativa–multicriterio, construida a partir de la interacción directa con comunidades rurales y bajo un principio ético de participación. La comunidad no fue tratada como objeto de estudio, sino como un actor central en la definición de insumos. De esta manera, el acceso inicial, los talleres y entrevistas permitieron sistematizar percepciones locales y traducirlas en los componentes metodológicos que estructuran la propuesta final.

4.1.1 Acceso a las comunidades y decisión del caso principal

El proceso de acceso se llevó a cabo mediante reuniones con líderes comunitarios y organizaciones locales, lo que permitió obtener consentimiento informado y asegurar que las actividades respondieran a intereses colectivos. Desde los primeros encuentros se enfatizó que el propósito de la investigación no era imponer proyectos tecnológicos, sino co–construir una metodología que priorizara alternativas energéticas desde la visión comunitaria (Figura 3).



Figura 3. Asamblea de líderes para acceso a la comunidad

En esta etapa se propusieron dos comunidades: San Antonio El Porvenir y Azapac, cuyas características contrastantes se sintetizan en la Tabla 3.

Tabla 3. Comparación de caso de Estudio entre San Antonio el Porvenir y Azapac.

Comunidad	Características detectadas	Decisión
San Antonio El Porvenir	Alta cohesión social, disposición a participar en entrevistas y talleres, interés en resolver problemas de agua y energía doméstica.	Seleccionada como caso principal de validación .
Azapac	Comunidad dispersa, menor participación en asambleas, demanda heterogénea de soluciones energéticas.	Utilizada como caso comparativo para validar el módulo booleano de decisión en la metodología.

La comparación evidenció que San Antonio El Porvenir presentaba mejores condiciones organizativas y sociales para la aplicación completa de la metodología, mientras que Azapac aportó elementos de contraste para el diseño metodológico.

4.1.2 Talleres participativos

Los talleres participativos permitieron recopilar percepciones comunitarias sobre energía, organización social y tecnologías disponibles en el entorno. Estas percepciones no fueron tratadas

como resultados concluyentes, sino como insumos preliminares que orientaron la construcción de la metodología participativa–multicriterio.

A partir de la observación y registro de las interacciones en los talleres, se elaboró una matriz de percepciones representativas (Tabla 4). Este recurso refleja cómo la comunidad expresa preocupaciones y expectativas frente a la introducción de tecnologías energéticas, aportando las bases para estructurar criterios sociales que posteriormente se formalizan en la metodología propuesta.

Este ejercicio de observación y sistematización permitió visibilizar las **preocupaciones sociales clave** de la comunidad.

Tabla 4. Percepciones comunitarias observadas en talleres participativos

Dimensión explorada	Frases representativas de la comunidad	Traducción metodológica
Organización social	“Sabemos trabajar juntos en la comunidad.” / “Si nos consultan, apoyamos el proyecto.”	Capital social → base para criterios de apropiación tecnológica y aceptación social.
Experiencia tecnológica	“Tenemos experiencia usando tecnologías sencillas como estufas de leña y molinos.” / “No queremos depender siempre de técnicos.”	Conocimiento local y autogestión → criterio de autonomía comunitaria.
Percepción de participación	“Nos gustaría que nos tomen en cuenta antes de traer proyectos.” / “Cuando llegan proyectos sin consulta, la gente no los usa.”	Demanda de inclusión → criterio de justicia procedimental y equidad en la toma de decisiones.
Limitaciones prácticas	“No me gustaría tener que ir a la ciudad cada vez que se descomponga algo que no conocemos.”	Riesgo de dependencia tecnológica → criterio de vulnerabilidad tecnológica.
Impacto en la vida diaria	“El humo de la cocina nos enferma.” / “Gastamos demasiado tiempo en leña y agua.”	Sobrecarga doméstica y riesgos de salud → criterios de equidad de género y bienestar percibido.
Compatibilidad cultural	“Si la tecnología no respeta nuestra forma de cocinar, no sirve.” / “Tememos que vengan tecnologías que no entienden nuestras costumbres.”	Pertinencia sociocultural → criterio de alineación con la cosmovisión.

4.1.3 Entrevistas semiestructuradas

Las entrevistas semiestructuradas se diseñaron para profundizar en dimensiones sociales relevantes, complementando la información obtenida en los talleres. Este instrumento permitió explorar percepciones individuales sobre bienestar, equidad, valores culturales y experiencias con tecnologías, generando insumos que posteriormente fueron sistematizados como criterios sociales en la metodología propuesta.

La Tabla 5 muestra cómo las entrevistas permitieron identificar percepciones comunitarias expresadas en frases cotidianas, las cuales fueron vinculadas con preguntas orientadoras previamente diseñadas. A partir de estas narrativas se establecieron conexiones directas con dimensiones analíticas, como equidad de género, autonomía, aceptación social y bienestar percibido. Estos insumos constituyen la base para la formalización de criterios sociales en la metodología participativa–multicriterio que se presenta más adelante.

4.1.4 Diseño de una metodología socio-técnica

El resultado principal de esta primera fase es la metodología participativa–multicriterio para la priorización de sistemas energéticos renovables (SER) en comunidades rurales. La propuesta integra las percepciones comunitarias obtenidas en campo con métodos analíticos multicriterio, dando lugar a un procedimiento sistemático, replicable y adaptativo.

La metodología se estructura en dos fases principales (Figura 4), cada una compuesta por pasos secuenciales que aseguran la transición de insumos sociales hacia resultados de priorización tecnológica:

Tabla 5. Percepciones comunitarias obtenidas en entrevistas semiestructuradas

Dimensión explorada	Pregunta orientadora	Frases representativas de la comunidad	Traducción metodológica
Bienestar general	¿Qué significa para usted tener más acceso a energía en casa?	“Si hay más tiempo, hay más quehacer; la luz no es para descansar.” (Mujer, 42 años)	El acceso a energía no siempre implica descanso → necesidad de medir carga de uso y calidad de vida .
Salud	¿Qué problemas de salud asocia con la forma en que hoy obtienen energía?	“Nos enfermamos de tos por el humo del fogón.” / “El agua de la pila tiene renacuajos y sedimento.”	Riesgos de salud → necesidad de criterios de prevención y salubridad .
Equidad de género	¿Quién dedica más tiempo a las tareas de leña, agua y cocina?	“Yo gasto el día entero en la leña y el agua, mientras mi esposo trabaja en otra cosa.” (Mujer, 36 años)	Sobrecarga femenina → criterio de equidad en distribución de beneficios .
Gobernanza y participación	¿Cómo se toman las decisiones sobre proyectos comunitarios?	“Aquí todo se decide en asamblea, nadie decide solo.” (Hombre, 51 años)	Necesidad de criterio de participación y gobernanza colectiva .
Valores culturales y simbólicos	¿Qué importancia tiene el fogón en su vida diaria?	“El fogón no es solo para cocinar, ahí nos enseñan a vivir.” (Mujer, 58 años)	Reconocimiento cultural → criterio de alineación con cosmovisión y valores simbólicos .
Autonomía y autogestión	¿Qué tan importante es poder arreglar ustedes mismos una tecnología?	“Queremos cosas que podamos arreglar nosotros, no depender de técnicos de fuera.” (Hombre, 45 años)	Autonomía tecnológica → criterio de autogestión comunitaria .
Justicia social y equidad	¿Qué piensa del reparto de apoyos o tecnologías en la comunidad?	“A veces solo les dan a los que son amigos de las autoridades.” (Mujer, 39 años)	Riesgo de exclusión → criterio de justicia social y distribución equitativa .
Empleo y medios de vida	¿Qué actividades cree que podrían mejorar con nuevas tecnologías?	“El café se pierde por falta de secado; con algo para secarlo tendríamos más ingreso.” (Hombre, 44 años)	Potencial productivo → criterio de impacto en economía local y medios de vida .
Educación y concienciación	¿Le interesa capacitarse o capacitar a jóvenes en nuevas tecnologías?	“Lo mejor es que los niños aprendan a usar las tecnologías nuevas.” (Mujer, 34 años)	Educación y formación → criterio de aprendizaje comunitario y apropiación intergeneracional .
Aceptación social	¿Qué pasa cuando llega una tecnología nueva a la comunidad?	“Si se entiende y se adapta, la usamos; si no, se queda guardada.” (Hombre, 47 años)	Grado de confianza y uso → criterio de aceptación social .
Bienestar emocional	¿Cómo afecta la energía a su vida cotidiana y tranquilidad?	“La luz es buena, pero no para descansar; siempre hay más trabajo.” (Mujer, 40 años)	Importancia de medir la calidad de vida y bienestar emocional .

Fase 1. Diagnóstico participativo de necesidades comunitarias

- Acceso y acuerdos iniciales: Contacto con líderes y autoridades locales para establecer confianza, obtener consentimiento informado y asegurar pertinencia cultural.
- Módulo booleano de decisión y perfiles comunitarios: El módulo booleano no se limita a determinar si una comunidad puede o no aplicar la metodología, sino que orienta qué tipo de talleres y herramientas participativas deben implementarse según las condiciones observadas. Para ello, se consideran tres variables básicas:
 - Necesidades energéticas explícitas (N).
 - Nivel de organización comunitaria (O).
 - Conocimiento sobre sistemas energéticos renovables (C).

Cada comunidad es representada con un vector binario (N,O,C), en donde 1 = condición presente y 0 = condición ausente. Según la combinación obtenida, la comunidad se clasifica en un perfil que orienta la estrategia metodológica a aplicar (Tabla 6).

Tabla 6. *Perfiles comunitarios y estrategias de implementación metodológica.*

Caso	Características clave	Estrategia metodológica recomendada
A	Comunidad organizada que reconoce sus necesidades, pero no sabe cómo priorizarlas.	Aplicar AHP para jerarquización de Criterio según las necesidades. Utilizar encuestas e instrumentos participativos.
B	Comunidad organizada con necesidades energéticas, pero sin conocimiento de SER.	Talleres informativos sobre tecnologías, observación de su aceptabilidad, encuestas con escala Likert.
C	Comunidad organizada con conocimiento técnico, pero con una cosmovisión que rechaza el cambio.	Charlas respetuosas con líderes. Aplicación del FODA para explorar necesidades sin violentar creencias.
D	Comunidad organizada, sin conocimiento técnico y con cosmovisión tradicional fuerte.	Estrategia doble: talleres de introducción a SER + diagnóstico cultural profundo con herramientas etnográficas.
E	Comunidad desorganizada, sin conocimiento técnico ni visión de mejora.	Primer paso: fortalecer la organización comunitaria con talleres de cohesión, FODA participativo y entrevistas.
F	Comunidad desorganizada, pero con conocimiento general sobre SER.	Reconstrucción del tejido social mediante actividades participativas. Identificación de líderes naturales.
G	Comunidad con necesidades identificadas, pero desorganizada y sin conocimiento sobre SER.	Enfoque en organización comunitaria + talleres de educación energética desde cero.
H	Comunidad con conocimiento sobre SER y necesidades claras, pero sin cohesión social.	Activación de procesos colectivos con énfasis en equidad y gobernanza. Diagnóstico de actores y barreras.

- Talleres participativos y entrevistas: Espacios colectivos e individuales para identificar necesidades energéticas, percepciones sociales y valores culturales asociados al uso de tecnologías.
- Sistematización y codificación: Registro y organización de narrativas comunitarias en matrices de codificación inductiva.
- Construcción de criterios sociales: Categorización temática de los insumos para formalizar criterios sociales de evaluación (ej. aceptación social, equidad de género, autonomía comunitaria).

Fase 2. Evaluación y priorización tecnológica

- Definición de alternativas tecnológicas: Identificación de SER potencialmente aplicables a las necesidades expresadas por la comunidad.
- Ponderación de criterios mediante AHP: Transformación de percepciones en datos cuantitativos, utilizando matrices de comparación por pares y cálculo de pesos relativos.
- Aplicación de métodos multicriterio: Uso de TOPSIS, MARCOS y VIKOR para evaluar y jerarquizar las alternativas tecnológicas en función de los criterios sociales ponderados.
- Consolidación de resultados: Integración de rankings parciales en un resultado consolidado que orienta la toma de decisiones.

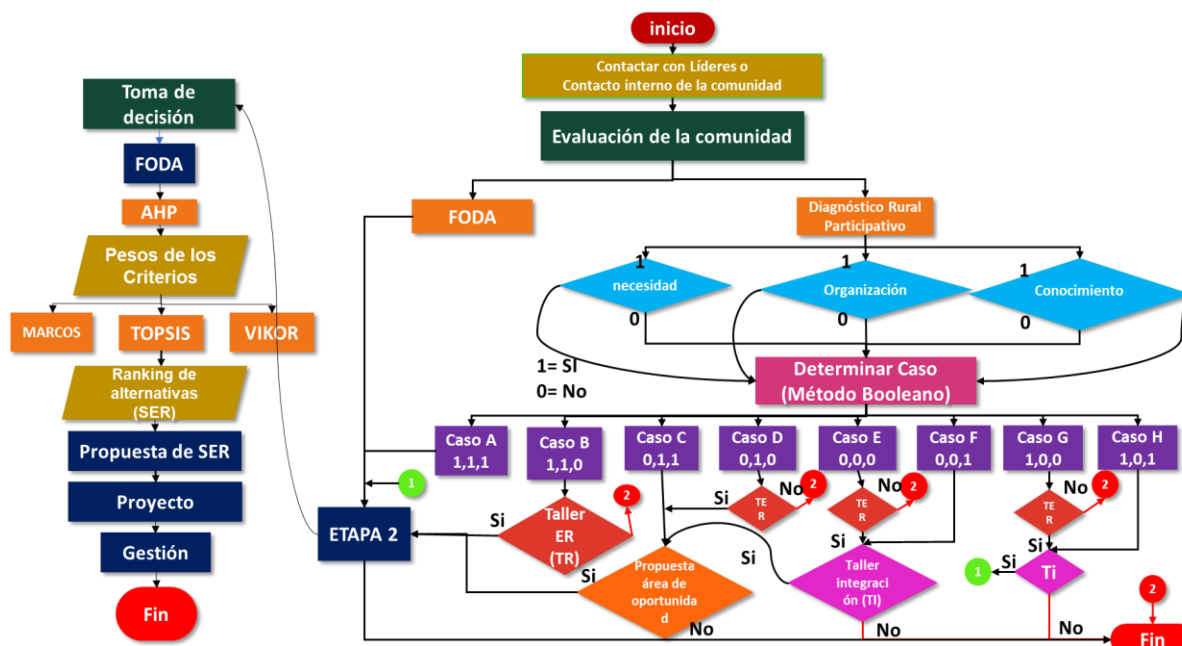


Figura 4. Esquema general de la metodología participativa–multicriterio propuesta.

La Figura 4 sintetiza la lógica de la metodología: la información generada en espacios comunitarios es procesada de manera estructurada hasta convertirse en criterios sociales, los cuales se aplican en métodos multicriterio para orientar decisiones energéticas adaptadas al contexto rural.

4.2 Resultados del desarrollo de la herramienta MALIS

El segundo resultado de esta investigación es el software MALIS, desarrollado para operacionalizar la metodología participativa–multicriterio. El sistema automatiza el proceso de captura de información comunitaria, ponderación de criterios sociales y priorización de alternativas tecnológicas (SER), integrando métodos como AHP, TOPSIS, MARCOS y VIKOR.

4.2.1 Requerimientos identificados desde ICT4D y metodologías ágiles

El diseño de MALIS se basó en tres principios:

- IEEE 830: especificación de requisitos funcionales y salidas obligatorias (formularios, algoritmos, reportes).
- Modelo Espiral: desarrollo iterativo con pruebas de usabilidad y ajustes continuos.
- ICT4D: accesibilidad en entornos rurales, interfaz simple, operación offline y bajo consumo de recursos.

4.2.2 Arquitectura lógica del software

La Tabla 7 resume la estructura modular de MALIS. El flujo de trabajo inicia con la evaluación comunitaria, pasa por la clasificación de perfiles y la ponderación de criterios, continúa con el análisis multicriterio y concluye con reportes y redes de apoyo.

La Figura 5 muestra la pantalla principal del sistema, donde se capturan los datos básicos de la comunidad y se accede a los distintos módulos funcionales.

Tabla 7. Módulos principales del software MALIS y sus funciones

Módulo	Función principal	Entrada	Salida	Principios aplicados
Interfaz gráfica (GUI)	Captura inicial y navegación	Datos comunitarios	Ficha técnica	IEEE 830: formularios; Espiral: ajustes iterativos; ICT4D: interfaz accesible
Determinación de caso (N,O,C)	Clasificación de comunidad en perfiles A–H	Vector binario	Perfil y estrategia	IEEE 830: reglas lógicas; Espiral: validación comunitaria; ICT4D: respeto a diversidad
Ponderación de criterios	Conversión de percepciones en pesos (Likert + AHP)	Encuestas	Pesos normalizados	IEEE 830: matrices AHP; Espiral: pruebas de consistencia; ICT4D: adaptación local
Análisis multicriterio	Evaluación de SER con MARCOS, TOPSIS, VIKOR	Pesos + SER	Rankings parciales y consolidado	IEEE 830: integración de algoritmos; Espiral: validación matemática; ICT4D: criterios ajustados
Reportes y gestión	Exportación de resultados con tablas y gráficos	Datos procesados	Reportes PDF/XLSX	IEEE 830: salidas definidas; Espiral: reportes simplificados; ICT4D: lenguaje accesible
Directorio y redes	Base de datos de instituciones y contactos	Información de actores	Listado de apoyo	IEEE 830: módulo complementario; Espiral: ampliado con usuarios; ICT4D: fortalecimiento de redes

Este programa de selección de sistemas energéticos renovables implementar en una comunidad rural

Nombre de la comunidad: San Antonio el Porvenir, Independencia, Chiapas

Organización o Líder: Domingo Lopez Lopez

Latitud: 16.222983 Longitud: -91.6928609

Transporte Público: si

Agua entubada: no

Alumbrado público: no

Servicios de Salud: no

Telecomunicaciones: no

Habla de lengua indígena: no

Saneamiento: no

Actividad económica: si

Comedor Comunitario: no

Evaluación de la comunidad

Caso de estudio

Evaluación de Criterios

Propuesta de Sistemas ER

Resultados:

Ficha Técnica

Directorio de Organizaciones

Figura 5. Interfaz inicial del software MALIS

4.2.3 Validación técnica y consistencia algorítmica

La validación técnica del software MALIS consideró dos dimensiones: (i) pruebas internas de consistencia y funcionamiento y (ii) evaluación de usabilidad y utilidad percibida mediante escalas estandarizadas SUS y TAM.

i. Pruebas internas:

- El índice de consistencia (CR) en AHP se mantuvo ≤ 0.08 en todas las matrices de prueba, confirmando estabilidad matemática.
- Los rankings obtenidos con MARCOS, TOPSIS y VIKOR mostraron variaciones inferiores al 5 % al modificar pesos en ± 10 %.
- La exportación de resultados en formatos PDF y Excel se ejecutó correctamente en el 100 % de los ensayos.
- El sistema gestionó adecuadamente casos límite (datos incompletos, criterios con valor cero), generando avisos de advertencia sin afectar la corrida general.

ii. Resultados de usabilidad y utilidad percibida

La herramienta fue probada con un grupo de 15 usuarios (académicos, estudiantes de posgrado y técnicos locales), a quienes se aplicaron los cuestionarios SUS y TAM tras interactuar con el sistema.

Tabla 8. Resultados de validación de usabilidad (SUS) y utilidad percibida (TAM)

Dimensión	Ítems evaluados	Promedio (1–5)	Desviación estándar
SUS – Usabilidad	Facilidad de uso, navegación, claridad de menús	4.3	0.4
TAM – Utilidad percibida	Relevancia de resultados, aplicabilidad en comunidad	4.5	0.3
TAM – Intención de uso futuro	Disposición a usarlo en nuevos proyectos	4.2	0.5

La Tabla 8 resume los puntajes obtenidos en las evaluaciones SUS y TAM. Se observa una alta valoración de usabilidad y utilidad percibida, con promedios superiores a 4.0 en todas las dimensiones.

4.2.4 Interfaz interactiva

Los módulos de la interfaz interactiva se pueden observar en el Anexo y en la (Figura 6) se puede observar la ventana principal del Software MALIS.

Este programa de selección de sistemas energéticos renovables implementar en una comunidad rural

Nombre de la comunidad: San Antonio el Porvenir, Independencia, Chiapas

Organización o Líder: Domingo Lopez Lopez

Latitud: 16.222983

Longitud: -91.6928609

Transporte Público: si

Agua entubada: no

Alumbrado público: no

Servicios de Salud: no

Telecomunicaciones: no

Habla de lengua indígena: no

Saneamiento: no

Actividad económica: si

Comedor Comunitario: no

Botones: Ayuda, Obtener mas Datos, Mapa

Botones de navegación: Evaluación de la comunidad, Caso de estudio, Evaluación de Criterios, Propuesta de Sistemas ER

Resultados: Ficha Técnica, Directorio de Organizaciones

Figura 6. Ventana de datos de entrada.

4.3 Validación en campo: caso San Antonio El Porvenir

La metodología y la herramienta MALIS fueron aplicadas en la comunidad de San Antonio El Porvenir como caso principal. Los resultados obtenidos se presentan en siete componentes: diagnóstico participativo, aplicación del cuestionario etnográfico, obtención de pesos AHP, rankings multicriterio, validación social, validación de usabilidad y utilidad percibida, y síntesis comparativa.

4.3.1 Selección de caso y prueba del módulo booleano

Se consideraron dos comunidades en la fase inicial: San Antonio El Porvenir y Azapac. La Tabla 9 muestra la comparación de características y la decisión tomada.

Tabla 9. Comparación de comunidades y clasificación booleano.

Comunidad	Organización social	Necesidades energéticas claras	Conocimiento en SER	Clasificación (N,O,C)	Decisión metodológica
San Antonio El Porvenir	Alta cohesión, asambleas activas	Problemas de agua, energía doméstica y poscosecha	Bajo, pero con disposición a aprender	(1,1,0) → Caso B	Aplicar metodología completa
Azapac	Baja cohesión, participación limitada	Necesidades dispersas	Escaso conocimiento y rechazo al cambio	(1,0,0) → Caso E	No continuar, requiere trabajo organizativo previo

4.3.2 Aplicación de la metodología en San Antonio

Se llevó a cabo un proceso de diagnóstico participativo en San Antonio El porvenir, Chiapas, acompañado de técnicas etnográficas. La metodología se aplicó siguiendo los módulos definidos:

Módulo 1. Talleres participativos y observación etnográfica

- 45 entrevistas (12 mujeres, 33 hombres).
- Frases relevantes: “La luz es buena, pero no para descansar”, “Queremos cosas que podamos arreglar nosotros”.
- Resultado: identificación de criterios sociales como aceptación social, equidad, autonomía y alineación cultural (Tabla 10).

Módulo 2. FODA comunitario

- Taller mixto elaboró un FODA participativo.
- Resultado: insumo clave para transformar percepciones en variables de evaluación (Tabla 11).

Tabla 10. Criterios Sociales para la selección de los SER.

Criterio propuesto	Redefinición y justificación etnográfica
Aceptación social	Nivel de comodidad, interés y confianza expresado por la comunidad hacia la tecnología, incluyendo aspectos simbólicos y de rumorología. (Wilhite, 2008)
Alineación con la cosmovisión	Grado en que la tecnología respeta creencias locales, prácticas ancestrales o usos cotidianos del entomo (ej. el fogón como espacio ritual). (Pink, 2009; Spradley, 1979)
Bienestar percibido	Sensación subjetiva de mejora en la calidad de vida vinculada a la tecnología (más tiempo libre, menos dolor, menos conflicto). (Chambers, 1994)
Autonomía comunitaria	Posibilidad de usar, mantener o adaptar la tecnología sin depender de técnicos externos, ligada al orgullo y conocimiento local.
Impacto en la economía local	Contribución directa o indirecta al sustento de la comunidad (más ahorro, más producción, más venta local). (Chambers, 1994)
Vulnerabilidad tecnológica	Riesgo de obsolescencia, dependencia de insumos o baja adaptabilidad cultural o climática. Puede leerse también como “fragilidad social” de la tecnología. (Bouzarovski, 2018)
Equidad en la distribución de beneficios	Percepción de que todos en la comunidad pueden acceder a la tecnología y beneficiarse de manera justa. (Bernard, 2018)

Tabla 11. FODA comunitario de San Antonio El Porvenir.

FACTORES INTERNOS DE LA COMUNIDAD		FACTORES EXTERNOS A LA COMUNIDAD	
DEBILIDADES (-)		AMENAZAS (-)	
1	No cuentan con agua purificada	1	Al no tener agua purificada representa un riesgo de salud
2	No cuentan con saneamiento	2	Al no tener saneamiento representa un riesgo de salud
3	Pérdida de producto postcosecha	3	Seguridad económica
4	Cocina con una estufa no eficiente	4	A pesar de tener estufa con chimenea, cocinan algunos alimentos en fogón abierto.
5	No cuentan con fosas bien construidas	5	Al no tener fosas de descarga postcosecha bien implementadas representa un riesgo de contaminación ambiental.
6	No cuentan con transporte económico dentro de la comunidad	6	Los mototaxis son muy costosos al no tener acceso al combustible
7	Electricidad intermitente	7	Educación, Preservación de los alimentos, seguridad.
8	No cuentan con alumbrado público	8	Seguridad, afectando el bienestar.
9	No cuentan con servicio de salud con suficientes insumos	9	
FORTALEZAS (+)		OPORTUNIDADES (+)	
1	Son una comunidad organizada	1	Secadores Solares
2	Tienen la disposición de aprender	2	Biodigestores
3	Cuentan con una actividad económica principal (cosecha de Café)	3	Estufas ecológicas
4	Utilizan la poda del café como leña	4	Briquetadora
5	Tienen sistemas de recolección de agua pluvial	5	Purificador de Agua Auto
6	Tienen fosas de descarga para los residuos postcosecha	6	Transporte eléctrico
7	cuenta con transporte público para la ciudad	7	Central de carga
8	Tiene electricidad	8	Central eléctrica Fotovoltaica
9	Cuentan con Telecomunicaciones	9	Centales Híbridas
10		10	Centrales Autónomas
11		11	Bombas solares
12		12	Cocinas solares
13		13	Cultivos Hidropónico+B3:E27os Solares

Módulo 3. Encuestas con escala Likert y triangulación observacional

- Encuestas de 1–10 con observación paralela de gestos y contexto.
- Resultado: base empírica para construir matrices AHP.

Se diseñó un cuestionario basado en una escala de Likert (1–10) con preguntas dirigidas a evaluar, para cada necesidad del FODA obtenido en la comunidad, siete criterios sociales validados bibliográficamente y enriquecidos desde la experiencia local. Por ejemplo en la Figura 7 podemos observar que para la alternativa de “No cuentan con agua purificada” se hicieron preguntas para cuantificar las percepciones en el Anexo se pueden observar las preguntad para cada necesidad de este trabajo.

- Aceptación social: ¿Qué tan importante cree usted que sería que esta solución sea aceptada por todos los miembros de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____ (R. obs): _____
- Alineación con la cosmovisión: ¿Cree que esta solución respetaría las creencias y formas tradicionales de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____ (R. obs): _____
- Bienestar percibido: ¿Cuánto cree que mejoraría su bienestar personal o familiar con esta solución? Respuesta (1 a 10): _____ (R. obs): _____
- Autonomía comunitaria: ¿Qué tan importante sería que esta solución pueda ser operada y mantenida por ustedes mismos sin depender de técnicos externos? Respuesta (1 a 10): _____ (R. obs): _____
- Impacto en la economía local: ¿Considera que esta solución ayudaría a ahorrar dinero, mejorar el trabajo o los ingresos en su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____ (R. obs): _____
- Vulnerabilidad tecnológica: ¿Cree que sería difícil reparar o mantener esta solución si se descompone? (1 = Muy fácil, 10 = Muy difícil). Respuesta (1 a 10): _____ (R. obs): _____
- Equidad en la distribución de beneficios: ¿Qué tan probable considera que todas las familias de la comunidad podrían acceder por igual a esta solución? Respuesta (1 a 10): _____ (R. obs): _____

Figura 7. Encuesta para cuantificar las percepciones de los criterios por necesidades.

Para cada respuesta que no coincida con las entrevistas realizadas se aplicó la fórmula de ajuste por consistencia con base en referentes teóricos sobre deseabilidad social (Edwards, 1957) y triangulación metodológica (Denzin, 2017), como:

$$Puntación\ Final = \left(\frac{Autoevaluación + (2 \times Validación\ observacional)}{3} \right) \quad (22)$$

La Ecuación 22 corrige desviaciones derivadas de respuestas influenciadas por normas culturales o jerarquías sociales, integrando validaciones cruzadas entre entrevistas, talleres participativos y observaciones.

Los resultados de estas encuestas, aplicadas a diversos grupos (mujeres, adultos mayores, jóvenes y líderes comunitarios), fueron promediados por criterio y necesidad, para luego analizarla en el Módulo 4.

Módulo 4. Pesos AHP de criterios sociales (Tabla 13)

- Matrices construidas con cocientes entre promedios (Tabla 12).
- Resultado: criterio más valorado: equidad en la distribución de beneficios (0.202).

Las percepciones recogidas en San Antonio El Porvenir se transformaron en pesos relativos de criterios sociales mediante matrices AHP empíricas derivadas de promedios en escala 1–10.

Tabla 12. Matriz de evaluación de necesidades comunitarias (escala 1–10)-extracto (La matriz completa se incluye en Anexo O).

Criterio / Necesidades	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
No cuentan con agua purificada	6.69	8.19	6.94	7.31	6.37	7.98	7.69
No cuentan con saneamiento	9.28	5.09	6.31	7.67	5.44	6.4	9.15
Pérdida de producto postcosecha	8.29	9.36	7.75	5.21	8.08	7.34	5.4
Cocina con una estufa no eficiente	7.69	8.75	5.63	7.73	6.98	7.46	5.88
No cuentan fosas bien construidas	5.7	5.96	6.31	5.77	5.55	5.83	5.2
No cuentan con transporte económico dentro de la comunidad	5.7	5.82	6.65	5.29	7.23	9.36	6.46
Electricidad intermitente	5.26	5.83	7.05	9.27	5.15	8.49	6.75
No cuentan con alumbrado público	8.9	6.37	8.53	9.35	9.09	9.23	6.22
No cuentan con servicio de salud con suficientes insumos	7.71	7.36	5.9	8.64	6.16	9.03	8.73

Tabla 13. Pesos globales de criterios sociales.

Criterio	Peso AHP Global
C7. Equidad en la distribución de beneficios	0.202
C3. Bienestar percibido	0.181
C1. Aceptación social	0.152
C2. Alineación con la cosmovisión	0.145
C4. Autonomía comunitaria	0.130
C5. Impacto en la economía local	0.107
C6. Vulnerabilidad tecnológica	0.083

Módulo 5. Evaluación multicriterio de tecnologías

- 12 alternativas evaluadas (estufas, secadores, purificadores, etc.).
- Métodos aplicados: MARCOS, TOPSIS y VIKOR (Figura 8).
- Resultado: ranking consolidado sitúa secadores solares, estufas ecológicas y purificadores de agua como prioridades (Figura 9).

Nota: Para visualizar mejor la comparativa para los resultados de VIKOR utilizamos esta fórmula ajustada:

$$Q_i^{\%} = \frac{Q_{max} - Q_i}{Q_{max} - Q_{min}} \times 100 \quad (23)$$

donde:

Q_{max} = 1.6797 (briquetadoras)

Q_{min} = 0.0000 (secadores solares)

Así, el mejor (mínimo) se convierte en 100%, y el peor (máximo) se convierte en 0%, igual que en TOPSIS y MARCOS.

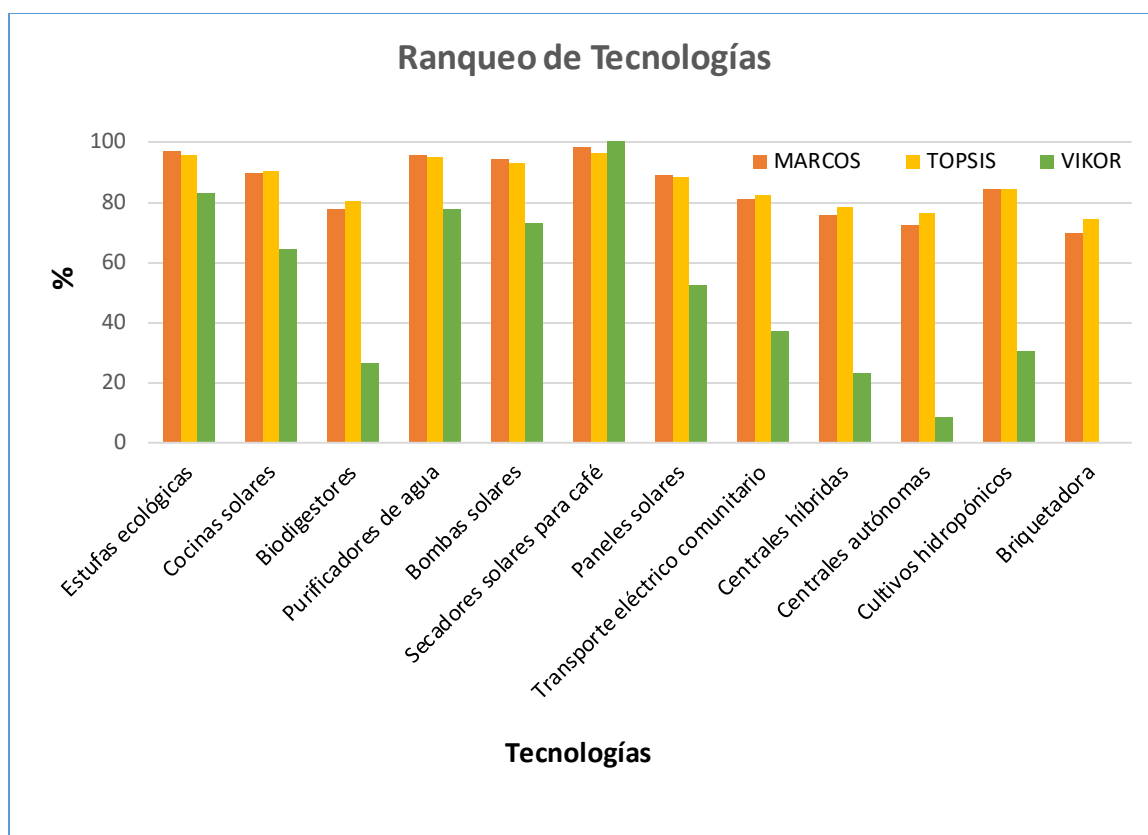


Figura 8. Ranqueo de tecnologías de los metodos multicriterio: MARCOS, TOPSIS Y VIKOR.

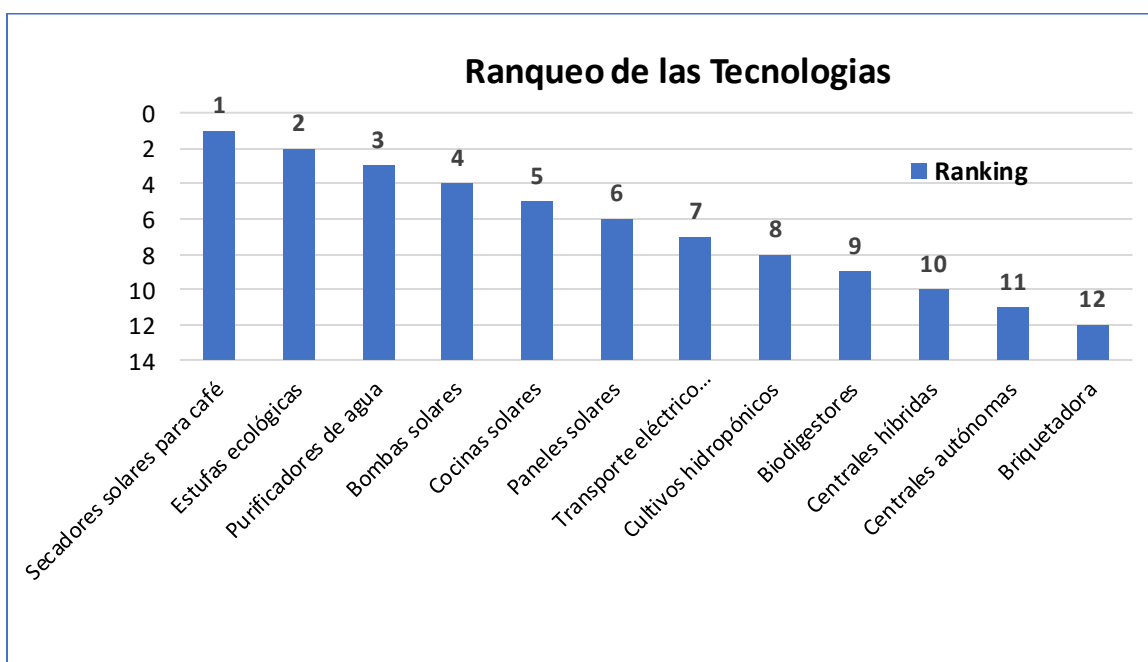


Figura 9. Orden en que las tecnologías deben implementarse para obtener aceptación de la comunidad.

4.3.3 Validación social

Los resultados de los rankings fueron presentados en una asamblea comunitaria con autoridades, líderes, mujeres y jóvenes de San Antonio El Porvenir.

- Se explicó la metodología en un lenguaje accesible.
- Se presentaron los rankings y se discutieron colectivamente sus implicaciones.
- La comunidad coincidió en que las estufas ecológicas y las bombas solares respondían mejor a sus necesidades inmediatas.
- Las observaciones y acuerdos se documentaron en actas y notas de campo (Figura 10).



Figura 10 *Presentación de resultados de MALIS en asamblea comunitaria*

4.3.4 Validación de usabilidad y utilidad percibida (SUS y TAM)

La herramienta MALIS fue evaluada por usuarios locales y externos mediante dos instrumentos (Tabla 15):

1. Escala SUS.

- Participantes: 10 personas (5 estudiantes de ingeniería, 3 técnicos comunitarios y 2 líderes locales).
- Puntaje promedio: **82.5/100**, considerado nivel “Excelente” de usabilidad.

2. Modelo TAM.

- Utilidad percibida: 4.5/5 (escala Likert).
- Facilidad de uso percibida: 4.3/5.
- Intención de uso futuro: 4.6/5.

Tabla 14. Resultados de validación SUS y TAM de MALIS

Ítem SUS	Puntaje promedio (1–5)	Dimensión TAM	Promedio (1–5)
Facilidad de uso	4.4	Utilidad percibida	4.5
Claridad de interfaz	4.2	Facilidad de uso percibida	4.3
Rapidez de ejecución	4.6	Intención de uso futuro	4.6
Confianza en resultados	4.5		

4.3.5 Síntesis de validación técnica, social y de usabilidad

La integración de las distintas validaciones permite observar la robustez de la metodología y de la herramienta MALIS (Tabla 16):

Tabla 15. Síntesis de validaciones realizadas en San Antonio El Porvenir

Tipo de validación	Indicador principal	Resultado
Técnica (Sección 4.2.4)	Correlación Spearman con software externo	$\rho = 0.97$
Social (Asamblea)	Tecnologías aceptadas	Secadores solares, Estufas ecológicas, Bombas solares
Usabilidad (SUS)	Puntaje promedio	82.5/100 (Excelente)
Utilidad percibida (TAM)	Promedio general	4.5/5

Con el objetivo de verificar la aplicabilidad y adaptabilidad del modelo a otros contextos comunitarios, se realizaron pruebas complementarias en una segunda comunidad, descritas a continuación.

4.4 Conclusión de los resultados

Los resultados obtenidos documentan la aplicación práctica de la metodología y la validación técnica y social de la herramienta MALIS en contextos comunitarios. Se generaron diagnósticos participativos, ponderaciones empíricas y rankings tecnológicos que fueron contrastados tanto en asambleas locales como mediante métricas de usabilidad y utilidad percibida. Estos hallazgos constituyen la base para el análisis crítico e interpretativo que se desarrolla en el siguiente capítulo, donde se discuten sus alcances, limitaciones y aportes en relación con los objetivos de investigación.

5. Discusiones

Este capítulo tiene como propósito interpretar los resultados obtenidos en el desarrollo y validación de la metodología participativa–multicriterio y de la herramienta MALIS. La discusión se organiza conforme a los objetivos específicos de la investigación, integrando la interpretación de los hallazgos, su contraste con la literatura existente, las implicaciones teóricas y prácticas, así como las limitaciones encontradas y las posibles líneas futuras de investigación.

5.1 Discusión del Diseño metodológico

El diseño metodológico participativo permitió traducir percepciones sociales y culturales en criterios formales de evaluación. Según la Tabla 4 (Percepciones comunitarias en talleres participativos) y la Tabla 5 (Percepciones comunitarias en entrevistas), los miembros de la comunidad destacaron como prioritarios aspectos vinculados con la autonomía, la equidad y el bienestar percibido, por encima de criterios meramente técnicos o económicos. Este hallazgo evidencia que las decisiones en torno a sistemas energéticos rurales no pueden limitarse a indicadores de eficiencia, sino que deben incorporar dimensiones sociales y culturales que influyen directamente en la aceptabilidad de las tecnologías.

La Figura 2 (Diagrama secuencial del diseño metodológico) muestra cómo este proceso se estructuró en fases sucesivas que permitieron pasar de la recopilación cualitativa a la formalización cuantitativa. Este esquema metodológico asegura que los criterios emergen desde la propia comunidad y no de supuestos externos, reforzando la legitimidad del proceso. Asimismo, la Figura 4 (Esquema general de la metodología participativa–multicriterio) evidencia la integración entre técnicas cualitativas (talleres, entrevistas) y métodos de análisis estructurado (AHP, TOPSIS, VIKOR, MARCOS).

En términos de consistencia, la ponderación de criterios mediante el método AHP arrojó resultados válidos, con índices de consistencia ($CR < 0.1$) aceptables en todos los casos. Esto se refleja en la Tabla 13 (Pesos globales de criterios sociales), donde se observa que la comunidad fue capaz de emitir juicios comparativos coherentes. Dicho resultado es relevante porque demuestra que la

población local no solo puede participar en la definición de criterios, sino también en su jerarquización de manera rigurosa.

Un aspecto clave que emergió del análisis es que las mujeres tendieron a priorizar criterios vinculados al bienestar familiar y la salud, mientras que los hombres enfatizaron la autonomía productiva. Esta diversidad interna, evidenciada en las Tablas 4 y 5, sugiere que los procesos de priorización deben contemplar espacios diferenciados de participación para evitar que ciertas voces queden invisibilizadas. Así, la metodología no solo permitió construir insumos para el análisis, sino también visibilizar desigualdades de género y generación que atraviesan las dinámicas comunitarias.

En síntesis, los resultados presentados en las Tablas 4, 5 y 13, junto con las Figuras 2 y 4, confirman que el diseño metodológico fue eficaz para integrar percepciones locales en un marco de evaluación formal. Este enfoque no solo asegura mayor pertinencia cultural y legitimidad social en la priorización de tecnologías, sino que además constituye una contribución al campo de los métodos multicriterio al demostrar que pueden adaptarse a partir de insumos contruidos desde la comunidad.

5.2 Discusión del desarrollo del software MALIS

El desarrollo del software MALIS constituyó un aporte central de la investigación, al permitir la aplicación automatizada de métodos multicriterio a partir de criterios definidos comunitariamente. Como se observa en la Tabla 7 (Módulos principales del software MALIS), la herramienta integra funciones para la ponderación de criterios (AHP), cálculo de distancias y coeficientes (TOPSIS), análisis de compromiso (VIKOR) y evaluación de utilidades (MARCOS), además de un módulo booleano de decisión. Este diseño modular refleja un esfuerzo por balancear rigurosidad técnica con accesibilidad para usuarios no expertos.

La Figura 5 (Interfaz inicial de MALIS) muestra que la herramienta fue concebida con una interfaz sencilla y amigable, lo que facilitó su uso incluso para personas con experiencia limitada en herramientas digitales. Más adelante, las Figuras 11 a 22 ilustran los distintos procesos internos del software, desde la carga de datos hasta la visualización de resultados en rankings comparativos.

Estas representaciones gráficas contribuyeron a que los participantes comprendieran cómo sus valoraciones se transformaban en resultados, fortaleciendo la transparencia y legitimidad del análisis.

Un aspecto innovador del software fue la inclusión del módulo booleano de decisión (ver Figura 13), el cual permitió clasificar perfiles comunitarios según su nivel de organización. Esta función evitó aplicar el modelo en contextos donde no existían condiciones mínimas para la participación, constituyendo un filtro ético que diferencia a MALIS de otras aplicaciones multicriterio orientadas solo a cálculos matemáticos.

En términos de validación, los resultados de las pruebas de usabilidad se presentan en la Tabla 15 (Evaluación SUS y TAM de MALIS). Allí se observa que la herramienta alcanzó puntajes superiores al promedio estándar en facilidad de uso (SUS) y utilidad percibida (TAM), lo que indica una buena aceptación por parte de los usuarios. Este hallazgo es consistente con la propuesta ICT4D (Heeks, 2018), que promueve el desarrollo de tecnologías simples, adaptables y culturalmente pertinentes.

No obstante, la validación se concentró en un número reducido de usuarios y en un contexto específico, lo que limita la generalización de los resultados. Además, como se evidenció durante las pruebas, la dependencia de un computador restringe el acceso en zonas con escasa disponibilidad de equipos. Una línea de mejora sería desarrollar una versión móvil de MALIS para ampliar su alcance en comunidades con menor acceso tecnológico.

En conclusión, los resultados reflejados en la Tabla 7, la Tabla 15 y las Figuras 5 y 11–22 muestran que MALIS no es únicamente un software de cálculo, sino un puente entre el conocimiento local y el análisis estructurado, al operacionalizar criterios sociales en algoritmos multicriterio de manera accesible y socialmente legítima.

5.3 Discusión de la validación en San Antonio El Porvenir

La validación de la metodología en la comunidad de San Antonio El Porvenir constituyó un ejercicio integrador en el que se contrastaron los criterios sociales definidos colectivamente con los resultados de los métodos multicriterio aplicados en MALIS. Este proceso permitió evaluar tanto la robustez técnica como la legitimidad social del modelo.

De acuerdo con la Tabla 10 (Criterios sociales para la selección de SER), la comunidad priorizó la equidad (28 %), el bienestar percibido (26 %) y la autonomía (22 %) como los criterios de mayor peso, mientras que la sostenibilidad ambiental y los costos técnicos recibieron porcentajes menores. Esta distribución confirma que, en contextos rurales, la aceptabilidad de las tecnologías depende más de su pertinencia social que de su eficiencia técnica aislada.

La Tabla 11 (FODA comunitario) y la Tabla 12 (Matriz de evaluación de necesidades) complementan este hallazgo al mostrar que las principales preocupaciones de la comunidad giran en torno al acceso equitativo a recursos básicos (agua, energía para la cocina y conservación de alimentos). Estos insumos se reflejaron directamente en los resultados de MALIS.

En la Figura 15 (Ranking comparativo entre TOPSIS, VIKOR y MARCOS), los tres métodos coincidieron en ubicar como primeras opciones a los secadores solares, las estufas ecológicas y los purificadores de agua. Aunque hubo ligeras variaciones en el orden, la convergencia metodológica refuerza la robustez del modelo. Posteriormente, la Figura 9 (Orden de implementación de tecnologías) sintetizó estas prioridades, señalando que las tecnologías asociadas a alimentación, salud y autonomía deberían implementarse en la primera fase.

Los datos de la validación se resumen en la Tabla 16 (Síntesis de validaciones), donde se evidencia que el modelo cumplió con tres tipos de validación: técnica (coherencia entre métodos), social (aceptación comunitaria) y de usabilidad (interacción con MALIS). El cruce de estos elementos permite afirmar que los resultados son consistentes y confiables.

La dimensión de equidad de género resulta clave en esta discusión. Según los registros de participación (Tabla 10), las mujeres representaron aproximadamente el 40 % de los asistentes a

los talleres y entrevistas, aunque su participación activa en las deliberaciones fue menor en comparación con la de los hombres. Dentro de este grupo, las mujeres jóvenes tuvieron la menor representación, lo que indica que sus perspectivas no tuvieron un peso proporcional en la definición de criterios. Este sesgo de género puede haber influido en la priorización final, ya que tecnologías como las estufas ecológicas, directamente relacionadas con las tareas domésticas, podrían haber alcanzado un peso aún mayor si las voces femeninas hubieran tenido mayor protagonismo.

Este hallazgo refuerza la importancia de diseñar mecanismos diferenciados de inclusión. Por ejemplo, talleres exclusivos para mujeres o espacios de deliberación por grupos etarios, que garanticen que todas las voces sean escuchadas en igualdad de condiciones. No atender esta dimensión puede reproducir desigualdades internas y limitar el potencial transformador de la metodología.

Finalmente, la coherencia entre los resultados cuantitativos (Tablas 10, 12 y Figura 15) y cualitativos (entrevistas comunitarias) refuerza la validez de la metodología. Los secadores solares fueron reconocidos por su aporte a la seguridad alimentaria y autonomía económica; las estufas ecológicas por su impacto en la salud y el medio ambiente; y los purificadores de agua por su papel en la equidad en el acceso a un recurso vital. Estas coincidencias legitiman los resultados y fortalecen la aceptación comunitaria.

En síntesis, la validación en San Antonio El Porvenir (apoyada en la Tabla 10, Tabla 11, Tabla 12, Tabla 16 y las Figuras 9 y 15) confirma que la metodología participativa–multicriterio permitió priorizar tecnologías no solo técnicamente viables, sino socialmente justas y culturalmente pertinentes. Sin embargo, también puso en evidencia la necesidad de fortalecer la equidad de género y garantizar la representatividad plena como condiciones indispensables para avanzar hacia una transición energética justa en comunidades rurales.

.

6. Conclusiones

6.1 Conclusión general

La investigación cumplió con el objetivo general de diseñar, desarrollar y validar una metodología participativa–multicriterio apoyada en un software para la priorización de tecnologías de energías renovables en comunidades rurales. El proceso metodológico permitió integrar criterios sociales definidos colectivamente en modelos de decisión estructurados, demostrando que la participación comunitaria puede transformarse en insumos rigurosos y operativos.

La contribución principal de este trabajo consiste en haber desarrollado un enfoque socio–técnico que combina herramientas de análisis multicriterio con procesos participativos, lo cual refuerza la legitimidad social de las decisiones tecnológicas y aporta un camino viable hacia una transición energética justa en contextos rurales.

6.2 Conclusiones específicas

Objetivo específico 1. Diseñar una metodología participativa de priorización de tecnologías energéticas renovables:

- La metodología permitió que percepciones y valores sociales se convirtieran en criterios evaluables dentro de un marco formal de decisión.
- Este enfoque superó visiones tradicionales centradas en indicadores técnicos, otorgando legitimidad y pertinencia cultural a los procesos de priorización tecnológica.
- La conclusión principal es que la comunidad no solo puede aportar datos, sino también estructurar las reglas de decisión, lo cual representa un cambio metodológico y político en la planificación energética rural.

Objetivo específico 2. Desarrollar una herramienta computacional que operacionalice la metodología:

- El software cumplió su propósito de integrar distintos métodos multicriterio en un entorno accesible y transparente.
- Su diseño modular y el módulo booleano de decisión demostraron que una herramienta digital puede ir más allá del cálculo, al incluir filtros éticos que valoran las condiciones sociales de aplicación.
- La conclusión principal es que MALIS constituye un puente entre el conocimiento local y el análisis estructurado, ofreciendo una herramienta replicable y adaptable a distintos contextos.

Objetivo específico 3. Validar la metodología y la herramienta mediante un estudio de caso:

- La aplicación en San Antonio El Porvenir confirmó la coherencia entre criterios sociales y resultados multicriterio, reflejando la centralidad de la equidad, la salud y la autonomía en la priorización tecnológica.
- El proceso generó aceptación y apropiación comunitaria, mostrando que la validez de un ranking no depende solo de su consistencia matemática, sino de su reconocimiento social.
- La conclusión principal es que la validación demostró la viabilidad práctica y social de la metodología, aunque también evidenció la necesidad de fortalecer la equidad de género y la representatividad en futuros ejercicios..

6.3 Recomendaciones y líneas futuras

Trabajos futuros:

- Replicar la metodología en comunidades con diferentes niveles de organización para evaluar su flexibilidad y adaptabilidad.
- Desarrollar versiones móviles de MALIS que amplíen la accesibilidad en entornos con baja alfabetización digital.
- Diseñar mecanismos de inclusión que garanticen la participación plena de mujeres y jóvenes.

- Incorporar criterios ambientales y económicos que complementen los sociales en futuros modelos de priorización.
- Validar la herramienta en proyectos energéticos reales, acompañando procesos de implementación comunitaria.

Líneas de investigación:

- Explorar cómo los métodos multicriterio pueden integrar criterios sociales en otros campos de la planificación rural.
- Profundizar en el vínculo entre justicia energética y metodologías participativas, para operacionalizar principios de equidad en la transición energética.
- Analizar la dimensión pedagógica de los procesos participativos, en tanto que generan aprendizaje colectivo y fortalecen la organización comunitaria.
- Estudiar el potencial del software MALIS como modelo de tecnologías para el desarrollo (ICT4D) en sectores distintos al energético.
- Investigar la integración de metodologías participativas–digitales en políticas públicas de planificación territorial.

7. Referencias

- Arias Alfaro, K., & Alfaro García, L. (2023). Análisis del abordaje social en la incorporación de proyectos de energías renovables: Una revisión documental. *Revista Nuevo Humanismo*, 11(1), 107–135. <https://doi.org/10.15359/rmh.11-1.5>
- Arturo Escobar. (2008). *Escobar, Arturo. La Invención Del Desarrollo [2014]*. https://archive.org/details/escobar-arturo.-la-invencion-del-desarrollo-2014_202108
- Barón, L. F., & Gómez, R. (2012). De la infraestructura a la apropiación social: Panorama sobre las políticas de las tecnologías de información y comunicación (tic) en Colombia. *Signo y Pensamiento*, 31(61), 38–55. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.syp31-61.dias>
- Bernard, H. R. (2018). *Research methods in anthropology: Qualitative and quantitative approaches* (Sixth edition). Rowman & Littlefield.
- Bouzarovski, S. (2018). Understanding Energy Poverty, Vulnerability and Justice. En S. Bouzarovski, *Energy Poverty* (pp. 9–39). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69299-9_2
- Brooke, J. (1996). *SUS - A quick and dirty usability scale*.
- Chambers, R. (1994). Participatory rural appraisal (PRA): Challenges, potentials and paradigm. *World Development*, 22(10), 1437–1454. [https://doi.org/10.1016/0305-750x\(94\)90030-2](https://doi.org/10.1016/0305-750x(94)90030-2)
- Clancy, J., & Feenstra, M. (2019). *Women, Gender Equality and the Energy Transition in the EU*. Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2861/750279>
- Colmenares-Quintero, R. F., Benavides-Castillo, J. M., Rojas, N., Stansfield, K. E., & Hubert, M. (2020). Community perceptions, beliefs and acceptability of renewable energies projects: A systematic mapping study. *Cogent Psychology*, 7(1), 1715534. <https://doi.org/10.1080/23311908.2020.1715534>
- Council for International Organizations of Medical Sciences & World Health Organization (Eds.). (2016). *International ethical guidelines for health-related research involving humans* (4th edition). CIOMS.
- Crenshaw, K. (1991). Mapping the Margins: Intersectionality, Identity Politics, and Violence against Women of Color. *Stanford Law Review*, 43(6), 1241. <https://doi.org/10.2307/1229039>
- Creswell, J. W. (2009). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. https://www.ucg.ac.me/skladiste/blog_609332/objava_105202/fajlovi/Creswell.pdf
- Davis, F. D. (1989). Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. *MIS Quarterly*, 13(3), 319. <https://doi.org/10.2307/249008>
- Denzin, N. K. (2017). *The Research Act: A Theoretical Introduction to Sociological Methods* (1a ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315134543>
- Edwards, A. L. (1957). *The social desirability variable in personality assessment and research* (pp. viii, 108). Dryden Press.

- Fals-Borda, O. (1987). The Application of Participatory Action-Research in Latin America. *International Sociology*, 2(4), 329–347. <https://doi.org/10.1177/026858098700200401>
- Ferrari, L., Masera Cerutti, O. R., & Straffon, A. (Eds.). (2023). *Transición energética justa y sustentable: Contexto y estrategias para México* (Primera edición). Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías.
- Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS: And sex, drugs and rock “n” roll* (3rd ed). SAGE Publications.
- Fraser, N. (2009). *Scales of justice: Reimagining political space in a globalizing world*. Columbia University Press.
- Geels, F. W. (2002). Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: A multi-level perspective and a case-study. *Research Policy*, 31(8–9), 1257–1274. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(02\)00062-8](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(02)00062-8)
- Geels, F. W. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems. *Research Policy*, 33(6–7), 897–920. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2004.01.015>
- Harris, C. R., Millman, K. J., Van Der Walt, S. J., Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., Wieser, E., Taylor, J., Berg, S., Smith, N. J., Kern, R., Picus, M., Hoyer, S., Van Kerkwijk, M. H., Brett, M., Haldane, A., Del Río, J. F., Wiebe, M., Peterson, P., ... Oliphant, T. E. (2020). Array programming with NumPy. *Nature*, 585(7825), 357–362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>
- Heeks, R. (2018). *Information and Communication Technology for Development (ICT4D)*. Taylor and Francis. <https://doi.org/10.4324/9781315652603>
- Hwang, C.-L., & Yoon, K. (1981). Methods for Multiple Attribute Decision Making. En M. Beckmann & H. P. Künzi (Eds.), *Multiple Attribute Decision Making* (Vol. 186, pp. 58–191). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-48318-9_3
- Jenkins, K., McCauley, D., Heffron, R., Stephan, H., & Rehner, R. (2016). Energy justice: A conceptual review. *Energy Research & Social Science*, 11, 174–182. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.10.004>
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry* (Nachdr.). Sage.
- López, R. (2013). *La experiencia de Red Chiapas*.
- Mansell, R. (Ed.). (1997). *Communication by design: The politics of information and communication technologies* (Repr). Oxford Univ- Press.
- Mardani, A., Zavadskas, E. K., Khalifah, Z., Zakuan, N., Jusoh, A., Nor, K. M., & Khoshnoudi, M. (2017). A review of multi-criteria decision-making applications to solve energy management problems: Two decades from 1995 to 2015. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 71, 216–256. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.053>
- McKinney, W. (2010). *Data Structures for Statistical Computing in Python*. 56–61. <https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-00a>

- Moser, C. O. N. (Ed.). (2010). *Gender planning and development: Theory, practice, and training*. Routledge.
- Nigim, K., Munier, N., & Green, J. (2004). Pre-feasibility MCDM tools to aid communities in prioritizing local viable renewable energy sources. *Renewable Energy*, 29(11), 1775–1791. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.02.012>
- Opricovic, S., & Tzeng, G.-H. (2004). Compromise solution by MCDM methods: A comparative analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156(2), 445–455. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(03\)00020-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(03)00020-1)
- Oudshoorn, N., & Pinch, T. J. (Eds.). (2005). *How users matter: The co-construction of users and technology* (First MIT Press paperback edition). MIT Press.
- Pasqualetti, M. J. (2011). Social Barriers to Renewable Energy Landscapes*. *Geographical Review*, 101(2), 201–223. <https://doi.org/10.1111/j.1931-0846.2011.00087.x>
- Pellizzoni, L. (2011). Governing through disorder: Neoliberal environmental governance and social theory. *Global Environmental Change*, 21(3), 795–803. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.03.014>
- Pink, S. (2009). *Doing Sensory Ethnography*. SAGE Publications Ltd. <https://doi.org/10.4135/9781446249383>
- Rignall, K. E. (2016). Solar power, state power, and the politics of energy transition in pre-Saharan Morocco. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 48(3), 540–557. <https://doi.org/10.1177/0308518X15619176>
- Rossum, G. van, & Drake, F. L. (2010). *The Python language reference* (Release 3.0.1 [Repr.]). Python Software Foundation.
- Saaty, T. L. (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9–26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- San Cristóbal, J. R. (2011). Multi-criteria decision-making in the selection of a renewable energy project in Spain: The VIKOR method. *Renewable Energy*, 36(2), 498–502. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.07.031>
- Schlosberg, D. (2013). Theorising environmental justice: The expanding sphere of a discourse. *Environmental Politics*, 22(1), 37–55. <https://doi.org/10.1080/09644016.2013.755387>
- Sisto, R., Fernández-Portillo, L. A., Yazdani, M., Estepa-Mohedano, L., & Torkayesh, A. E. (2022). Strategic planning of rural areas: Integrating participatory backcasting and multiple criteria decision analysis tools. *Socio-Economic Planning Sciences*, 82, 101248. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2022.101248>
- Sovacool, B. K., & Dworkin, M. H. (2015). Energy justice: Conceptual insights and practical applications. *Applied Energy*, 142, 435–444. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.002>
- Sovacool, B. K., Ryan, S. E., Stern, P. C., Janda, K., Rochlin, G., Spreng, D., Pasqualetti, M. J., Wilhite, H., & Lutzenhiser, L. (2015). Integrating social science in energy research. *Energy Research & Social Science*, 6, 95–99. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.12.005>

- Spradley, J. P. (1979). *The ethnographic interview*. Holt, Rinehart and Winston.
- Stake, R. E. (1995). *The art of case study research*. Sage Publications.
- Stević, Ž., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to COMpromise solution (MARCOS). *Computers & Industrial Engineering*, 140, 106231. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106231>
- Strauss, A. L., & Corbin, J. M. (1998). *Basics of qualitative research: Techniques and procedures for developing grounded theory* (2nd ed). Sage Publications.
- Terrados, J., Almonacid, G., & Pérez-Higueras, P. (2009). Proposal for a combined methodology for renewable energy planning. Application to a Spanish region. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2022–2030. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.025>
- Wilhite, H. (2008). New thinking on the agentive relationship between end-use technologies and energy-using practices. *Energy Efficiency*, 1(2), 121–130. <https://doi.org/10.1007/s12053-008-9006-x>
- Wolsink, M. (2007). Planning of renewables schemes: Deliberative and fair decision-making on landscape issues instead of reproachful accusations of non-cooperation. *Energy Policy*, 35(5), 2692–2704. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.002>
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (Sixth edition). SAGE.
- Zavadskas, E. K., Turskis, Z., & Kildienė, S. (2014). STATE OF ART SURVEYS OF OVERVIEWS ON MCDM/MADM METHODS. *Technological and Economic Development of Economy*, 20(1), 165–179. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.892037>

Anexo

Anexo 1. Estudio Etnografico

Evidencia fotográfica del estudio etnográfico de San Antonio el porvenir, municipio de la independencia, Chiapas.



Anexo 2. Encuesta FODA.

Instrumento de Evaluación Comunitaria por Alternativa

Alternativa 1: No cuentan con agua purificada

- Aceptación social: ¿Qué tan importante cree usted que sería que esta solución sea aceptada por todos los miembros de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Alineación con la cosmovisión: ¿Cree que esta solución respetaría las creencias y formas tradicionales de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Bienestar percibido: ¿Cuánto cree que mejoraría su bienestar personal o familiar con esta solución? Respuesta (1 a 10): _____
- Autonomía comunitaria: ¿Qué tan importante sería que esta solución pueda ser operada y mantenida por ustedes mismos sin depender de técnicos externos? Respuesta (1 a 10): _____
- Impacto en la economía local: ¿Considera que esta solución ayudaría a ahorrar dinero, mejorar el trabajo o los ingresos en su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Vulnerabilidad tecnológica: ¿Cree que sería difícil reparar o mantener esta solución si se descompone? (1 = Muy fácil, 10 = Muy difícil) Respuesta (1 a 10): _____
- Equidad en la distribución de beneficios: ¿Qué tan probable considera que todas las familias de la comunidad podrían acceder por igual a esta solución? Respuesta (1 a 10): _____

Alternativa 2: No cuentan con saneamiento

- Aceptación social: ¿Qué tan importante cree usted que sería que esta solución sea aceptada por todos los miembros de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Alineación con la cosmovisión: ¿Cree que esta solución respetaría las creencias y formas tradicionales de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Bienestar percibido: ¿Cuánto cree que mejoraría su bienestar personal o familiar con esta solución? Respuesta (1 a 10): _____
- Autonomía comunitaria: ¿Qué tan importante sería que esta solución pueda ser operada y mantenida por ustedes mismos sin depender de técnicos externos? Respuesta (1 a 10): _____
- Impacto en la economía local: ¿Considera que esta solución ayudaría a ahorrar dinero, mejorar el trabajo o los ingresos en su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Vulnerabilidad tecnológica: ¿Cree que sería difícil reparar o mantener esta solución si se descompone? (1 = Muy fácil, 10 = Muy difícil) Respuesta (1 a 10): _____
- Equidad en la distribución de beneficios: ¿Qué tan probable considera que todas las familias de la comunidad podrían acceder por igual a esta solución? Respuesta (1 a 10): _____

Alternativa 3: Pérdida de producto postcosecha

- Aceptación social: ¿Qué tan importante cree usted que sería que esta solución sea aceptada por todos los miembros de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Alineación con la cosmovisión: ¿Cree que esta solución respetaría las creencias y formas tradicionales de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Bienestar percibido: ¿Cuánto cree que mejoraría su bienestar personal o familiar con esta solución? Respuesta (1 a 10): _____
- Autonomía comunitaria: ¿Qué tan importante sería que esta solución pueda ser operada y mantenida por ustedes mismos sin depender de técnicos externos? Respuesta (1 a 10): _____
- Impacto en la economía local: ¿Considera que esta solución ayudaría a ahorrar dinero, mejorar el trabajo o los ingresos en su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Vulnerabilidad tecnológica: ¿Cree que sería difícil reparar o mantener esta solución si se descompone? (1 = Muy fácil, 10 = Muy difícil) Respuesta (1 a 10): _____
- Equidad en la distribución de beneficios: ¿Qué tan probable considera que todas las familias de la comunidad podrían acceder por igual a esta solución? Respuesta (1 a 10): _____

Alternativa 4: Cocina con una estufa no eficiente

- Aceptación social: ¿Qué tan importante cree usted que sería que esta solución sea aceptada por todos los miembros de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Alineación con la cosmovisión: ¿Cree que esta solución respetaría las creencias y formas tradicionales de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Bienestar percibido: ¿Cuánto cree que mejoraría su bienestar personal o familiar con esta solución? Respuesta (1 a 10): _____
- Autonomía comunitaria: ¿Qué tan importante sería que esta solución pueda ser operada y mantenida por ustedes mismos sin depender de técnicos externos? Respuesta (1 a 10): _____
- Impacto en la economía local: ¿Considera que esta solución ayudaría a ahorrar dinero, mejorar el trabajo o los ingresos en su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Vulnerabilidad tecnológica: ¿Cree que sería difícil reparar o mantener esta solución si se descompone? (1 = Muy fácil, 10 = Muy difícil) Respuesta (1 a 10): _____
- Equidad en la distribución de beneficios: ¿Qué tan probable considera que todas las familias de la comunidad podrían acceder por igual a esta solución? Respuesta (1 a 10): _____

Alternativa 5: No cuentan con fosas bien construidas

- Aceptación social: ¿Qué tan importante cree usted que sería que esta solución sea aceptada por todos los miembros de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Alineación con la cosmovisión: ¿Cree que esta solución respetaría las creencias y formas tradicionales de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Bienestar percibido: ¿Cuánto cree que mejoraría su bienestar personal o familiar con esta solución? Respuesta (1 a 10): _____
- Autonomía comunitaria: ¿Qué tan importante sería que esta solución pueda ser operada y mantenida por ustedes mismos sin depender de técnicos externos? Respuesta (1 a 10): _____
- Impacto en la economía local: ¿Considera que esta solución ayudaría a ahorrar dinero, mejorar el trabajo o los ingresos en su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Vulnerabilidad tecnológica: ¿Cree que sería difícil reparar o mantener esta solución si se descompone? (1 = Muy fácil, 10 = Muy difícil) Respuesta (1 a 10): _____
- Equidad en la distribución de beneficios: ¿Qué tan probable considera que todas las familias de la comunidad podrían acceder por igual a esta solución? Respuesta (1 a 10): _____

Alternativa 6: No cuentan con transporte económico dentro de la comunidad

- Aceptación social: ¿Qué tan importante cree usted que sería que esta solución sea aceptada por todos los miembros de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Alineación con la cosmovisión: ¿Cree que esta solución respetaría las creencias y formas tradicionales de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Bienestar percibido: ¿Cuánto cree que mejoraría su bienestar personal o familiar con esta solución? Respuesta (1 a 10): _____
- Autonomía comunitaria: ¿Qué tan importante sería que esta solución pueda ser operada y mantenida por ustedes mismos sin depender de técnicos externos? Respuesta (1 a 10): _____
- Impacto en la economía local: ¿Considera que esta solución ayudaría a ahorrar dinero, mejorar el trabajo o los ingresos en su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Vulnerabilidad tecnológica: ¿Cree que sería difícil reparar o mantener esta solución si se descompone? (1 = Muy fácil, 10 = Muy difícil) Respuesta (1 a 10): _____
- Equidad en la distribución de beneficios: ¿Qué tan probable considera que todas las familias de la comunidad podrían acceder por igual a esta solución? Respuesta (1 a 10): _____

Alternativa 7: Electricidad intermitente

- Aceptación social: ¿Qué tan importante cree usted que sería que esta solución sea aceptada por todos los miembros de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Alineación con la cosmovisión: ¿Cree que esta solución respetaría las creencias y formas tradicionales de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Bienestar percibido: ¿Cuánto cree que mejoraría su bienestar personal o familiar con esta solución? Respuesta (1 a 10): _____
- Autonomía comunitaria: ¿Qué tan importante sería que esta solución pueda ser operada y mantenida por ustedes mismos sin depender de técnicos externos? Respuesta (1 a 10): _____
- Impacto en la economía local: ¿Considera que esta solución ayudaría a ahorrar dinero, mejorar el trabajo o los ingresos en su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Vulnerabilidad tecnológica: ¿Cree que sería difícil reparar o mantener esta solución si se descompone? (1 = Muy fácil, 10 = Muy difícil) Respuesta (1 a 10): _____
- Equidad en la distribución de beneficios: ¿Qué tan probable considera que todas las familias de la comunidad podrían acceder por igual a esta solución? Respuesta (1 a 10): _____

Alternativa 8: No cuentan con alumbrado público

- Aceptación social: ¿Qué tan importante cree usted que sería que esta solución sea aceptada por todos los miembros de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Alineación con la cosmovisión: ¿Cree que esta solución respetaría las creencias y formas tradicionales de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Bienestar percibido: ¿Cuánto cree que mejoraría su bienestar personal o familiar con esta solución? Respuesta (1 a 10): _____
- Autonomía comunitaria: ¿Qué tan importante sería que esta solución pueda ser operada y mantenida por ustedes mismos sin depender de técnicos externos? Respuesta (1 a 10): _____
- Impacto en la economía local: ¿Considera que esta solución ayudaría a ahorrar dinero, mejorar el trabajo o los ingresos en su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Vulnerabilidad tecnológica: ¿Cree que sería difícil reparar o mantener esta solución si se descompone? (1 = Muy fácil, 10 = Muy difícil) Respuesta (1 a 10): _____
- Equidad en la distribución de beneficios: ¿Qué tan probable considera que todas las familias de la comunidad podrían acceder por igual a esta solución? Respuesta (1 a 10): _____

Alternativa 9: No cuentan con servicio de salud con suficientes insumos

- Aceptación social: ¿Qué tan importante cree usted que sería que esta solución sea aceptada por todos los miembros de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Alineación con la cosmovisión: ¿Cree que esta solución respetaría las creencias y formas tradicionales de su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Bienestar percibido: ¿Cuánto cree que mejoraría su bienestar personal o familiar con esta solución? Respuesta (1 a 10): _____
- Autonomía comunitaria: ¿Qué tan importante sería que esta solución pueda ser operada y mantenida por ustedes mismos sin depender de técnicos externos? Respuesta (1 a 10): _____
- Impacto en la economía local: ¿Considera que esta solución ayudaría a ahorrar dinero, mejorar el trabajo o los ingresos en su comunidad? Respuesta (1 a 10): _____
- Vulnerabilidad tecnológica: ¿Cree que sería difícil reparar o mantener esta solución si se descompone? (1 = Muy fácil, 10 = Muy difícil) Respuesta (1 a 10): _____
- Equidad en la distribución de beneficios: ¿Qué tan probable considera que todas las familias de la comunidad podrían acceder por igual a esta solución? Respuesta (1 a 10): _____

Anexo 3. Matrices de Comparación por Pares AHP

A2 - No cuentan con agua purificada

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1.000	0.817	0.964	0.915	1.050	0.838	0.870
C2	1.224	1.000	1.180	1.121	1.285	1.049	1.064
C3	1.037	0.847	1.000	0.948	1.090	0.890	0.918
C4	1.093	0.892	1.055	1.000	1.151	0.939	0.968
C5	0.953	0.778	0.917	0.869	1.000	0.815	0.841
C6	1.193	0.953	1.124	1.065	1.227	1.000	1.032
C7	1.149	0.940	1.090	1.033	1.189	0.970	1.000

A3 - No cuentan con saneamiento

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1.000	1.824	1.471	1.210	1.706	1.450	1.014
C2	0.548	1.000	0.807	0.664	0.935	0.794	0.555
C3	0.680	1.239	1.000	0.823	1.161	0.986	0.689
C4	0.827	1.506	1.214	1.000	1.402	1.191	0.832
C5	0.586	1.070	0.861	0.713	1.000	0.849	0.593
C6	0.690	1.260	1.015	0.840	1.177	1.000	0.698
C7	0.986	1.802	1.451	1.201	1.687	1.434	1.000

A4 - Pérdida de producto postcosecha

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1.000	0.885	1.070	1.591	1.026	1.130	1.535
C2	1.130	1.000	1.209	1.796	1.158	1.276	1.733
C3	0.935	0.827	1.000	1.486	0.958	1.056	1.434
C4	0.628	0.557	0.673	1.000	0.643	0.709	0.963
C5	0.974	0.864	1.044	1.556	1.000	1.103	1.498
C6	0.885	0.784	0.947	1.411	0.907	1.000	1.360
C7	0.652	0.577	0.697	1.038	0.667	0.735	1.000

A5. No cuentan fosas bien construidas

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1.000	0.956	0.903	0.988	1.027	0.978	1.096
C2	1.046	1.000	0.945	1.033	1.074	1.022	1.146
C3	1.107	1.059	1.000	1.094	1.137	1.082	1.213
C4	1.012	0.968	0.914	1.000	1.040	0.990	1.110
C5	0.974	0.931	0.880	0.962	1.000	0.952	1.067
C6	1.023	0.978	0.924	1.010	1.050	1.000	1.121
C7	0.912	0.872	0.824	0.901	0.937	0.892	1.000

A6. No cuentan con transporte económico dentro de la comunidad

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1.000	0.979	0.857	1.078	0.788	0.609	0.882
C2	1.021	1.000	0.875	1.100	0.805	0.622	0.901
C3	1.167	1.143	1.000	1.257	0.920	0.710	1.029
C4	0.928	0.909	0.795	1.000	0.732	0.565	0.819
C5	1.268	1.242	1.087	1.367	1.000	0.772	1.119
C6	1.642	1.608	1.408	1.769	1.295	1.000	1.449
C7	1.133	1.110	0.971	1.221	0.893	0.690	1.000

A7. Electricidad intermitente

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1.000	0.902	0.746	0.567	1.021	0.620	0.779
C2	1.108	1.000	0.827	0.629	1.132	0.687	0.864
C3	1.340	1.209	1.000	0.761	1.369	0.830	1.044
C4	1.762	1.590	1.315	1.000	1.800	1.092	1.373
C5	0.979	0.883	0.730	0.556	1.000	0.607	0.763
C6	1.614	1.456	1.204	0.916	1.649	1.000	1.258
C7	1.283	1.158	0.957	0.728	1.311	0.795	1.000

A8. No cuentan con alumbrado público

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1.000	1.397	1.043	0.952	0.979	0.964	1.431
C2	0.716	1.000	0.747	0.681	0.701	0.690	1.024
C3	0.958	1.339	1.000	0.912	0.938	0.924	1.371
C4	1.051	1.468	1.096	1.000	1.029	1.013	1.503
C5	1.021	1.427	1.066	0.972	1.000	0.985	1.461
C6	1.037	1.449	1.082	0.987	1.015	1.000	1.484
C7	0.699	0.976	0.729	0.665	0.684	0.674	1.000

A9. No cuentan con servicio de salud con suficientes insumos

Criterio	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
C1	1.000	1.048	1.307	0.892	1.252	0.854	0.883
C2	0.955	1.000	1.247	0.852	1.195	0.815	0.843
C3	0.765	0.802	1.000	0.683	0.958	0.653	0.676
C4	1.121	1.174	1.464	1.000	1.403	0.957	0.990
C5	0.799	0.837	1.044	0.713	1.000	0.682	0.706
C6	1.171	1.227	1.531	1.045	1.466	1.000	1.034
C7	1.132	1.186	1.480	1.010	1.417	0.967	1.000

Anexo 4. Matrices del Método MARCOS

Matriz Normalizada

Tecnología	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Estufas ecológicas	0.9896	0.9947	1.0000	0.9783	0.9725	0.9839	1.0000
Cocinas solares	0.8653	0.9101	0.8724	0.8804	0.8571	0.8495	0.8663
Biodigestores	0.7098	0.7090	0.7041	0.7609	0.7418	0.8172	0.7433
Purificadores de agua	0.9430	0.9524	0.9490	0.9674	0.9835	0.9462	0.9626
Bombas solares	0.9223	0.9259	0.8776	0.9565	0.9890	0.9570	0.9251
Secadores solares para café	1.0000	1.0000	0.9898	1.0000	1.0000	1.0000	0.9893
Paneles solares	0.8394	0.8360	0.8571	0.9239	0.9670	0.9624	0.8556
Transporte eléctrico comunitario	0.7617	0.7937	0.7755	0.7880	0.8681	0.8441	0.8235
Centrales híbridas	0.6943	0.6878	0.7143	0.7554	0.7473	0.7473	0.7219
Centrales autónomas	0.6528	0.6825	0.6684	0.7174	0.7418	0.7366	0.6845
Cultivos hidropónicos	0.8135	0.8360	0.8163	0.8478	0.8407	0.8065	0.7914
Briquetadora	0.6477	0.6455	0.6582	0.7120	0.7253	0.7204	0.6952

Matriz Ponderada

Tecnología	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Estufas ecológicas	0.1635	0.1646	0.1295	0.1180	0.1161	0.1532	0.1440
Cocinas solares	0.1429	0.1506	0.1130	0.1062	0.1023	0.1323	0.1247
Biodigestores	0.1173	0.1173	0.0912	0.0918	0.0886	0.1272	0.1070
Purificadores de agua	0.1558	0.1576	0.1229	0.1167	0.1174	0.1473	0.1386
Bombas solares	0.1524	0.1532	0.1136	0.1154	0.1181	0.1490	0.1332
Secadores solares para café	0.1652	0.1655	0.1282	0.1206	0.1194	0.1557	0.1425
Paneles solares	0.1387	0.1384	0.1110	0.1114	0.1155	0.1498	0.1232
Transporte eléctrico comunitario	0.1258	0.1313	0.1004	0.0950	0.1037	0.1314	0.1186
Centrales híbridas	0.1147	0.1138	0.0925	0.0911	0.0892	0.1164	0.1040

Centrales autónomas	0.1079	0.1130	0.0866	0.0865	0.0886	0.1147	0.0986
Cultivos hidropónicos	0.1344	0.1384	0.1057	0.1022	0.1004	0.1256	0.1140
Briquetadora	0.1070	0.1068	0.0852	0.0859	0.0866	0.1122	0.1001

Índice de Utilidad por Tecnología.

Tecnología	Índice de Utilidad
Estufas ecológicas	0.9889
Cocinas solares	0.8721
Biodigestores	0.7404
Purificadores de agua	0.9563
Bombas solares	0.9349
Secadores solares para café	0.9970
Paneles solares	0.8880
Transporte eléctrico comunitario	0.8063
Centrales híbridas	0.7217
Centrales autónomas	0.6957
Cultivos hidropónicos	0.8206
Briquetadora	0.6838

Índice de Utilidad Normalizado (K_i).

Tecnología	K_i
Estufas ecológicas	0.9918
Cocinas solares	0.8747
Biodigestores	0.7426
Purificadores de agua	0.9592
Bombas solares	0.9377
Secadores solares para café	1.0000
Paneles solares	0.8906
Transporte eléctrico comunitario	0.8087
Centrales híbridas	0.7238
Centrales autónomas	0.6978
Cultivos hidropónicos	0.8230
Briquetadora	0.6858

Anexo 5. Aplicación del método TOPSIS

Matriz normalizada de tecnologías

Tecnología	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Estufas ecológicas	0.287	0.284	0.289	0.27	0.252	0.26	0.27
Cocinas solares	0.251	0.26	0.252	0.243	0.222	0.225	0.234
Biodigestores	0.206	0.202	0.204	0.21	0.192	0.217	0.201
Purificadores de agua	0.273	0.272	0.276	0.268	0.247	0.251	0.261
Bombas solares	0.267	0.265	0.255	0.265	0.248	0.254	0.251
Secadores solares para café	0.289	0.286	0.287	0.277	0.251	0.263	0.258
Paneles solares	0.243	0.239	0.248	0.255	0.243	0.253	0.222
Transporte eléctrico comunitario	0.22	0.227	0.224	0.217	0.218	0.222	0.214
Centrales híbridas	0.201	0.197	0.206	0.208	0.188	0.197	0.188
Centrales autónomas	0.189	0.195	0.206	0.207	0.186	0.194	0.18
Cultivos hidropónicos	0.235	0.239	0.251	0.245	0.21	0.213	0.208
Briquetadora	0.187	0.184	0.202	0.206	0.182	0.19	0.19

Matriz ponderada de tecnologías

Tecnología	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
Estufas ecológicas	0.0293	0.0267	0.0309	0.0251	0.0240	0.0294	0.0344
Cocinas solares	0.0256	0.0244	0.0269	0.0227	0.0212	0.0253	0.0298
Biodigestores	0.0210	0.0190	0.0217	0.0196	0.0183	0.0244	0.0256
Purificadores de agua	0.0279	0.0256	0.0293	0.0248	0.0243	0.0283	0.0331
Bombas solares	0.0273	0.0249	0.0272	0.0246	0.0244	0.0288	0.0318
Secadores solares para café	0.0297	0.0269	0.0307	0.0257	0.0246	0.0301	0.0341
Paneles solares	0.0250	0.0225	0.0266	0.0238	0.0239	0.0289	0.0295
Transporte eléctrico comunitario	0.0226	0.0213	0.0240	0.0202	0.0215	0.0253	0.0284
Centrales híbridas	0.0206	0.0185	0.0222	0.0195	0.0184	0.0223	0.0249
Centrales autónomas	0.0194	0.0184	0.0208	0.0184	0.0183	0.0223	0.0236
Cultivos hidropónicos	0.0241	0.0225	0.0254	0.0218	0.0207	0.0244	0.0274
Briquetadora	0.0193	0.0174	0.0205	0.0183	0.0179	0.0219	0.0241

Distancias e índice de cercanía

Tecnología	Distancia A+	Distancia A-	índice de cercanía (Ci)
Secadores solares para café	0.00197484	0.17296549	0.988711341
Estufas ecológicas	0.00589491	0.17107253	0.966689279
Purificadores de agua	0.02222454	0.1524247	0.872747593
Bombas solares	0.03852791	0.13865194	0.782549134
Cocinas solares	0.06706504	0.10972867	0.620659334
Paneles solares	0.07065741	0.10932241	0.607414817
Cultivos hidropónicos	0.09978081	0.07674757	0.434760529

Transporte eléctrico comunitario	0.11037382	0.0659565	0.37405082
Biodigestores	0.13980186	0.03780503	0.212857885
Centrales híbridas	0.15130658	0.02301174	0.132009861
Centrales autónomas	0.16616645	0.01221352	0.068469106
Briquetadora	0.17263334	0.00302159	0.017201846

Anexo 7. Interfaz del software

- Identificación del tipo de caso comunitario según los parámetros del modelo booleano propuesto.

Evaluación de la comunidad

Si haz hablado con la comunidad que has observado en ella

La comunidad tiene la voluntad de querer ser ayudados

si

La comunidad cuenta con necesidades

si

La comunidad se encuentra organizada

si

La comunidad cuenta con conocimiento de las ER

no

Al terminar presiona OK para guardar y luego cerrar, si presionas cerrar no guardará las respuestas

OK

cerrar

Figura 11. Ventana para la selección de Casos.

- Clasificación automática según los niveles de conocimiento, organización y disposición al cambio y selección del tipo de caso.

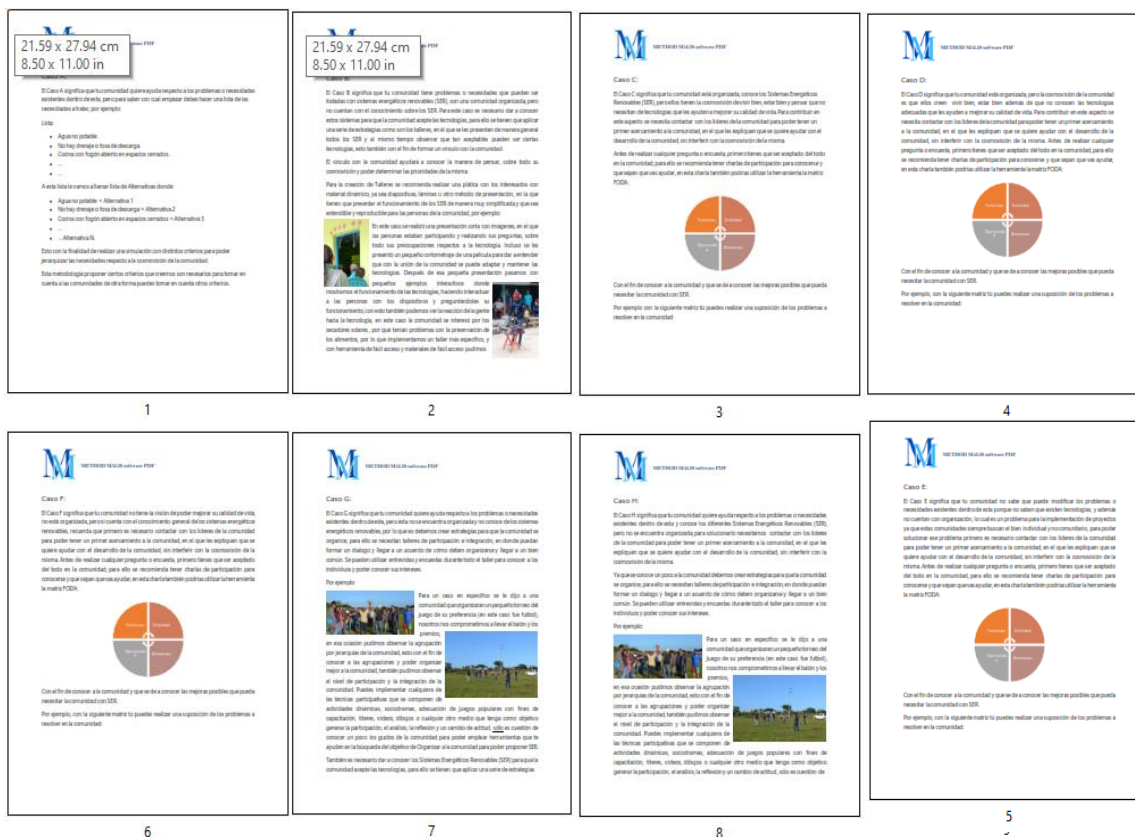


Figura 12. Guías de acompañamiento técnico según sea el caso.

- Ingreso estructurado de datos cualitativos y cuantitativos, con formularios personalizables por comunidad.

Figura 13. Ventana para generar las encuestas según las necesidades.

- Evaluación automatizada para darle pesos a los criterios.

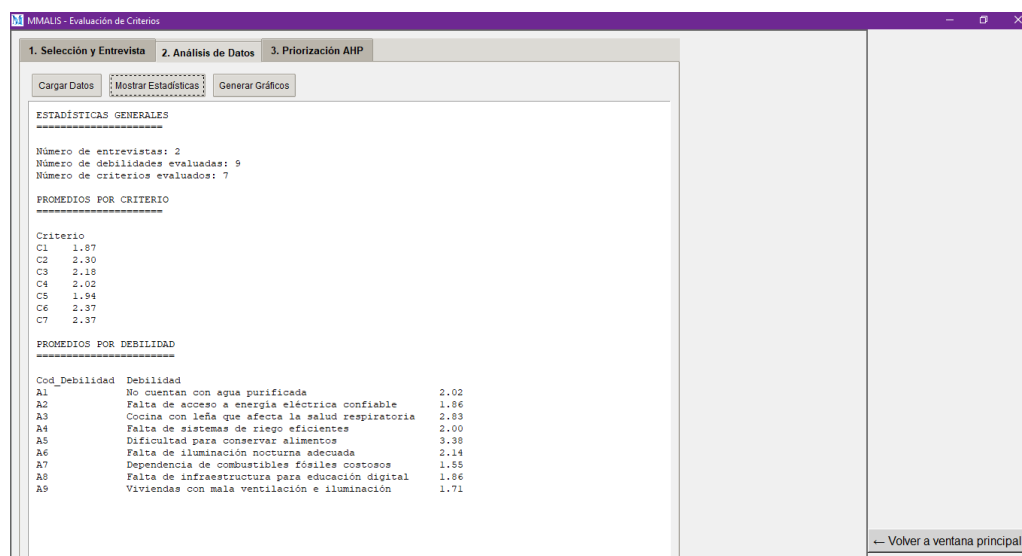


Figura 14. Ventana de análisis de Datos. (Software MALIS)

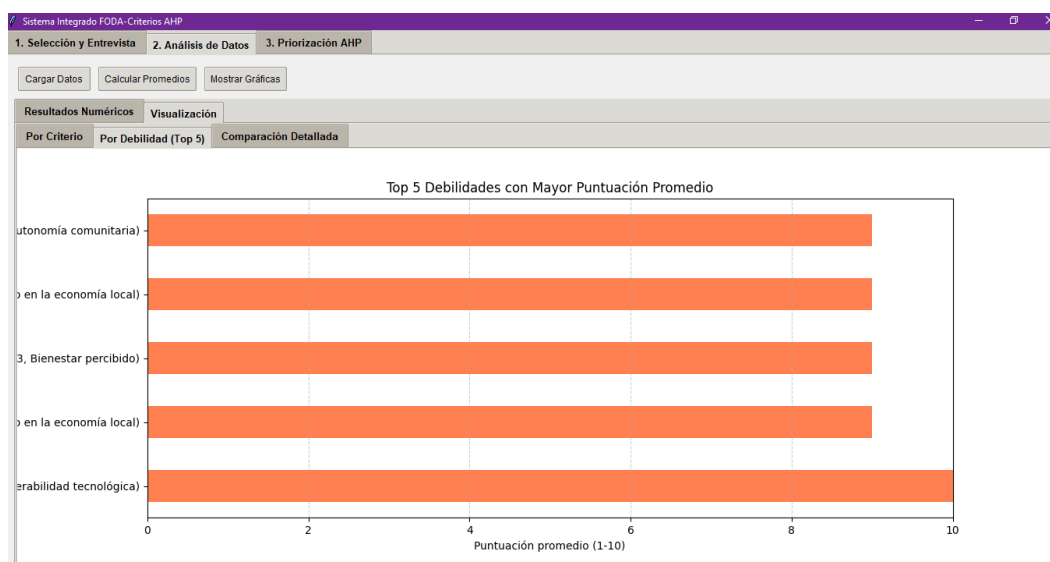


Figura 15. Pestaña para ver las gráficas. (Software MALIS)

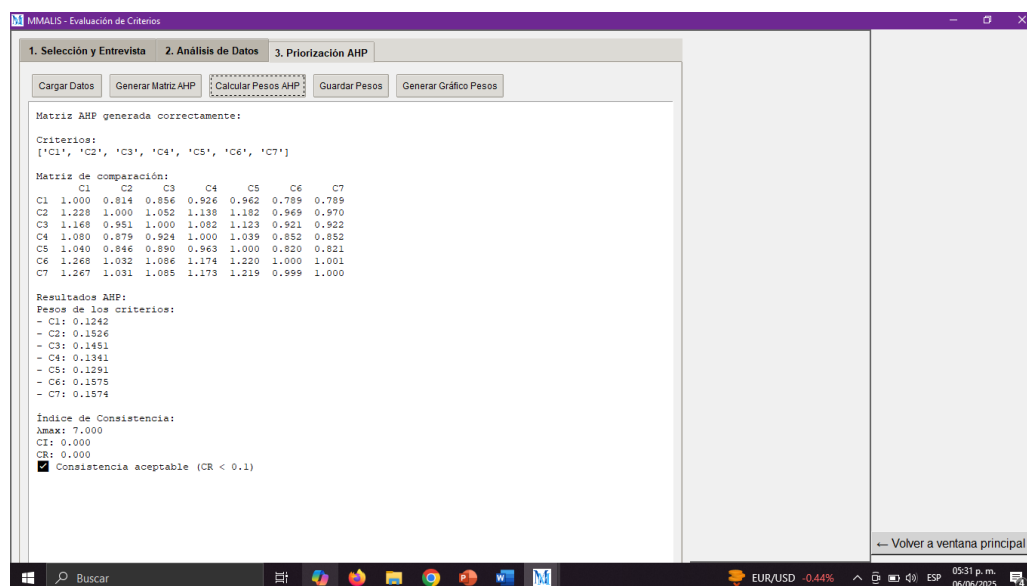


Figura 16. Resultados del método AHP. (Software MALIS)

- Selección de tecnologías mediante integración de cuestionarios y observaciones de la comunidad.

Selecciona las tecnologías que deseas evaluar en esta entrevista:

- ☒ A1. Estufas ecológicas
- ☒ A2. Cocinas solares
- ☒ A3. Biodigestores
- ☒ A4. Purificadores de agua
- ☒ A5. Bombas solares
- ☒ A6. Secadores solares para café
- ☒ A7. Paneles solares
- ☒ A8. Transporte eléctrico comunitario
- ☒ A9. Centrales híbridas
- ☒ A10. Centrales autónomas
- ☒ A11. Cultivos hidropónicos
- ☒ A12. Briquetadora

Agregar nueva oportunidad

Generar encuesta

A1. Estufas ecológicas

Criterio: Aceptación social: ¿Consideras que esta tecnología podría ser aceptada fácilmente por la comunidad? (1 = Poco, 10 = Mucho)

Criterio: Alineación con la cosmovisión: ¿Crees que esta tecnología se alinea con las costumbres, creencias o formas de vida de la comunidad? (1 = Poco, 10 = Mucho)

Criterio: Bienestar percibido: ¿Piensas que esta tecnología contribuiría a mejorar la calidad de vida de las personas en la comunidad? (1 = Poco, 10 = Mucho)

Criterio: Autonomía comunitaria: ¿Esta tecnología permitiría a la comunidad depender menos de apoyos externos o tomar decisiones propias? (1 = Poco, 10 = Mucho)

Criterio: Impacto en la economía local: ¿Crees que esta tecnología beneficiaría económicamente a las familias o actividades locales? (1 = Poco, 10 = Mucho)

Criterio: Vulnerabilidad tecnológica: ¿Consideras que esta tecnología es robusta o fácil de mantener en la comunidad, incluso con pocos recursos? (1 = Poco, 10 = Mucho)

Criterio: Equidad en la distribución de beneficios: ¿Esta tecnología beneficiaría a toda la comunidad por igual, sin excluir a ciertos grupos? (1 = Poco, 10 = Mucho)

A2. Cocinas solares

← Volver a ventana principal

Figura 17. Pestaña para evaluación de alternativas, mediante encuestas. (Software MALIS)

Tecnología	Aceptación social	Alineación con la cosmovisión	Bienestar percibido	Autonomía comunitaria	Impacto en la economía
A1. Estufas ecológicas	8.0	7.0	8.0	9.0	5.0
A10. Centrales autónomas	4.0	5.0	4.0	5.0	3.0
A11. Cultivos hidropónicos	6.0	5.0	6.0	5.0	5.0
A12. Briquetadora	7.0	6.0	5.0	7.0	6.0
A2. Cocinas solares	5.0	4.0	3.0	5.0	2.0
A3. Biodigestores	5.0	6.0	5.0	7.0	7.0
A4. Purificadores de agua	4.0	3.0	7.0	7.0	5.0
A5. Bombas solares	7.0	6.0	7.0	8.0	8.0
A6. Secadores solares para café	10.0	9.0	9.0	9.0	10.0
A7. Paneles solares	4.0	3.0	2.0	4.0	3.0
A8. Transporte eléctrico comunitario	3.0	3.0	4.0	3.0	5.0
A9. Centrales híbridas	3.0	2.0	4.0	3.0	2.0

Figura 18. Matriz de Evaluación de las alternativas respecto a los criterios. (Softwares MALIS).

Tecnología	TOPSIS	VIKOR
A6. Secadores solares para café	0.941	1.0
A1. Estufas ecológicas	0.68	0.5993
A5. Bombas solares	0.6831	0.6862
A12. Briquetadora	0.5576	0.5311
A11. Cultivos hidropónicos	0.5137	0.4578
A3. Biodigestores	0.4652	0.3225
A4. Purificadores de agua	0.4183	0.197
A10. Centrales autónomas	0.3155	0.2086
A8. Transporte eléctrico comunitario	0.3105	0.1087
A2. Cocinas solares	0.2313	0.0802
A9. Centrales híbridas	0.2189	0.0513
A7. Paneles solares	0.1081	0.0

Figura 19. Pestaña del Ranqueo de las alternativas respecto el método. (Software MALIS)

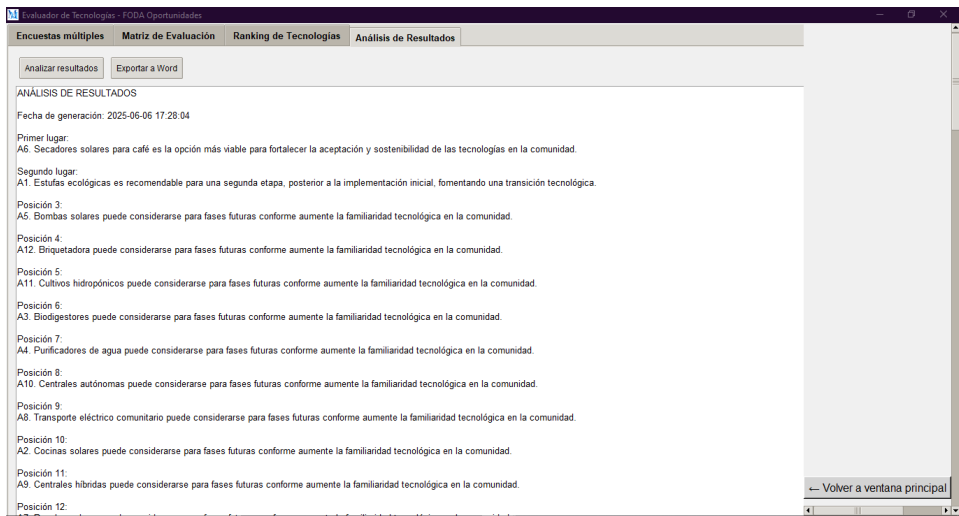


Figura 20. Pestaña del análisis de resultados de las tecnologías. (Software MALIS)

- Base de datos donde y quien puede ayudarte a crear tu proyecto.

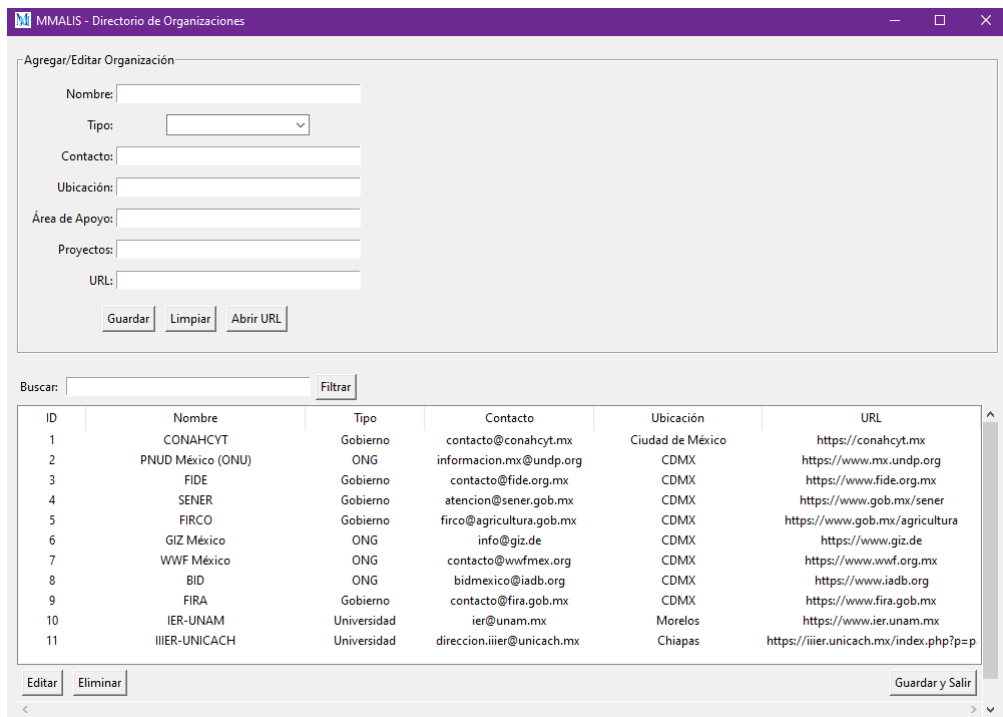


Figura 21. Directorio de instituciones y organizaciones que colaboran con proyectos en comunidades rurales. (Software MALIS)

– Visualización y exportación de resultados

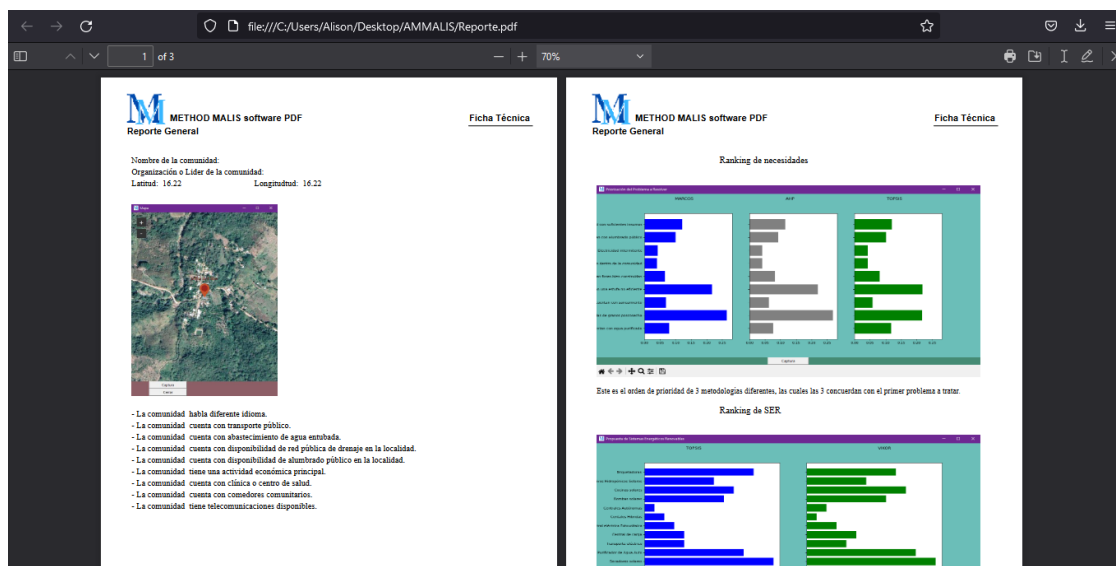


Figura 22. Reporte final creado por el software MALIS.