

BARRERAS Y PERSPECTIVAS DE LAS CENTRALES FOTOVOLTAICAS COMUNITARIAS, CASO DE ESTUDIO DZITYÁ, YUCATÁN

Oscaryvan Canto-Franco^a, J.F. Sarmiento-Franco^b, Francisco Javier Mendoza-Vizcaino^a, M.A. Escalante Soberanis^a

^a*Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán (UADY)*

^b*Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Mérida*

Fecha de recepción: 18 de octubre de 2024 - Fecha de aceptación: 29 de septiembre de 2025

Resumen

La “energía renovable comunitaria” se refiere a los sistemas de fuentes renovables de energía propiedad de una localidad y ubicados en ella. El presente trabajo de investigación pretende analizar los retos y perspectivas que acompañan en la implementación de proyectos de esta naturaleza, enfocando el caso de estudio en el hipotético caso de una central fotovoltaica en Dzityá, una pequeña comisaría ubicada al norte de Mérida, Yucatán. Para el análisis del estudio se partió de la metodología que propone la evaluación ambiental estratégica, la cual pretende brindar una amplia visión de la incorporación de proyectos de este tipo en la vida diaria de las poblaciones, considerando los elementos sociales y ambientales. Se encontró que, si bien existe la factibilidad técnica para la implementación de una central solar fotovoltaica, es necesario considerar que hay elementos sociales que deben integrarse desde las fases previas hasta las finales de la gestión de proyectos de este tipo. Se concluyó que el marco jurídico representa el reto principal para este tipo de proyectos, ya que no existe un modelo de auto-abasto comunitario bajo un esquema de interconexión.

Palabras clave: Energías renovables comunitarias, generación distribuida, desarrollo sustentable, evaluación ambiental estratégica.

*mauricio.escalante@correo.uady.mx

BARRIERS AND PERSPECTIVES OF COMMUNITY PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS: A CASE STUDY OF DZITYÁ, YUCATÁN

Abstract

"Community renewable energy" refers to renewable energy systems that are owned and located within a specific locality. This research paper aims to analyze the challenges and perspectives associated with the implementation of community renewable energy projects, focusing on a theoretical photovoltaic central plant in Dzityá, a small rural community located to the north of Mérida, Yucatán. For the study analysis, the methodology proposed by strategic environmental assessment was used, which seeks to provide a broad perspective on the integration of those projects into the daily life of local populations, considering both social and environmental elements. As a result, while there is technical feasibility for the implementation of a photovoltaic solar plant, it is essential to recognize that social elements must be integrated from the early stages through to the final stages of project management. The study concluded that the primary challenge for these types of projects lies in the legal framework, as there is no model for community self-supply under an interconnected scheme.

Keywords: Community Renewable Energies, Distributed generation, Sustainable Development, Strategic Environmental Assessment.

Introducción

En el informe de Brundtland, en 1987, el Desarrollo Sostenible emerge como una propuesta conceptual holística que articula al menos 5 dimensiones: la económica, la ecológica, la social, la política y la cultural. Si bien el desarrollo sostenible representa la conexión orgánica de estas 5 dimensiones, ésta aún no está suficientemente estudiada para definir con precisión las complejas relaciones que se dan entre ellas (Gutiérrez & González, 2010).

A partir de fines de la década de 1990, los cuestionamientos afloraron con fuerza, en

particular como reacción frente al creciente reduccionismo de mercado. Además, las posturas neoliberales, que consideran que el desarrollo no es un proceso para construir o planificar, sino que resulta de dejar actuar libremente al mercado, naufragaron (Acosta, 2015).

El aumento de la producción y el consumo a nivel global derivado de un mercado que no considera las afectaciones ambientales ocasiona consumos energéticos que impactan significativamente el medio ambiente. Aunado a esto, para el año 2022 el consumo de la energía mundial estaba encabezado por china con más de 8000 TWh, seguido de Estados Unidos con más de 4000 TWh, posteriormente

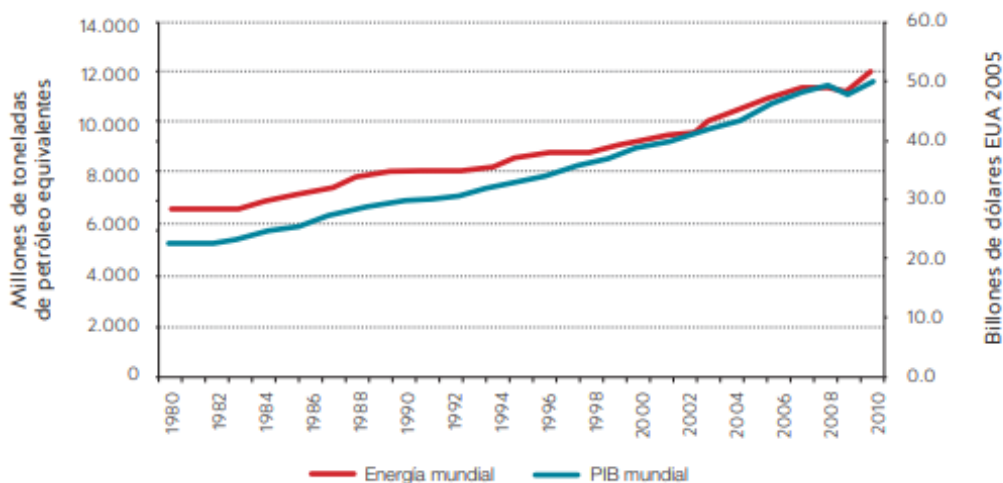
India con poco menos de 4000 TWh y Rusia, Japón, Brasil y Corea del Sur con alrededor de 1000 TWh, seguido de países del norte global como Canadá, Alemania, Francia y otros países europeos con consumos aproximados de 500 TWh (Wiatros-Motyka, 2023) .

La agenda 21 se convirtió en el programa para impulsar un nuevo desarrollo en el mundo, sin embargo, al igual que el informe de Brundtland, fue un documento que no respondió a las grandes expectativas depositadas durante el proceso de negociación, ya que cada bloque de países esperaba y partía de entendimientos diferentes, abriendo un debate internacional

que continúa hasta la actualidad (Gutiérrez & González, 2010).

El uso de las fuentes de energía que tenemos a nuestro alcance es la base de toda la actividad económica, puesto que los actuales procesos de extracción, transformación, transporte, comercialización y uso de bienes y servicios son inviables sin un alto consumo energético. Más aún, el crecimiento económico y el uso de energía están fuertemente vinculados. Esto es algo que se puede constatar en la Figura 1, ya que se observa una relación directamente proporcional entre el crecimiento económico y el consumo energético (Cardona, 2018)

Figura 1. Comparación del PIB mundial vs Consumo energético.



Actualmente, la mayor parte de la energía consumida proviene de combustibles fósiles. Se estima que, si el total de la población consumiera energía como los países industrializados con las tendencias actuales, las reservas mundiales de los principales combustibles fósiles se agotarían para el 2050. Los combustibles fósiles generan daños medioambientales, los cuales están íntimamente relacionados con el efecto

invernadero que a su vez genera el cambio climático (Jarauta, 2010).

Con todo lo anterior, surge la necesidad de una transición energética de combustibles fósiles a medios no contaminantes como lo son las Energías Renovables. Las Energías Renovable son aquellas que pueden producir trabajo a partir de fuentes inagotables a escala humana. Así, el aprovechamiento de la radiación solar no supone un agotamiento. A diferencia del

sistema energético actual basado en los combustibles fósiles, las Energías Renovables permiten un aprovechamiento indefinido de tiempo.

Por lo tanto, una de las primeras menciones en el ámbito internacional hacia las energías renovables provino de La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo que produjo la Agenda 21, donde se mencionaron propuestas sobre energías renovables, que eran centrales en la negociación. Sin embargo, se desvanecieron por falta de voluntad política tanto de los grandes productores de petróleo como de las corporaciones que se benefician del petróleo barato. Se intentaba llegar al 2015 con un 15% de Energías Renovables, quedando solo en un acuerdo voluntario y regional (Gutiérrez & González, 2010).

En diciembre de 2015 se realizó en París la “Cumbre contra el cambio climático COP 2”, en la que los delegados de 195 países llegaron a un acuerdo para enfrentar conjuntamente el calentamiento global, cuyo objetivo principal fue mantener el aumento de la temperatura por debajo de 2° C. El acuerdo de París es un hito para el mundo, pero también el reconocimiento de que el cambio climático avanza y ahora tenemos que acelerar las acciones para mitigar o adaptarnos a sus efectos, salvaguardando los sistemas de agua y producción de alimentos (Martínez, 2018).

Otra de las principales menciones de las energías renovables en el mundo son los objetivos de desarrollo sostenible los cuales siguen avanzando hacia las metas de energía sostenible, aunque los esfuerzos no alcanzan la magnitud necesaria para cumplir con el Objetivo 7 (acceso energético accesible y no contaminante para toda la población) para el año 2030 (ONU, 2020).

Para cumplir la meta de acceso universal a la energía eléctrica para el año 2030, la tasa anual de electrificación tiene que aumentar de los 0.82 puntos porcentuales actuales a 0.87 para el período de 2019 a 2030. Al ritmo actual de progreso, se prevé que 620 millones de personas seguirán sin acceso a la energía eléctrica en el año 2030 (ONU, 2020).

Con lo anterior se evidencia que existe la necesidad de migrar paulatinamente a fuentes de energía menos contaminantes, que por un lado disminuyan la generación de gases de efecto invernadero con los consumos actuales. Por otro lado, este tipo de tecnologías impulsarán la electrificación en zonas donde actualmente no existe el recurso sin el aumento de emisiones de GEI.

Una manera sustentable de la aplicación tecnológica de energías renovables son las “Energías Renovables Comunitarias”. El término “energía renovable comunitaria” se refiere a los sistemas de fuentes renovables de energía, propiedad de una localidad y ubicada en ésta. Sus aplicaciones casi siempre incluyen el involucramiento o la participación directa de una comunidad (son propietarios del proyecto y ejercen control sobre él), más allá de la simple inversión o de la tendencia de acciones y también más allá del modelo de beneficio comunitario que en ocasiones utilizan los promotores, en el que un pequeño porcentaje de los ingresos generados por un desarrollo privado se destina a obras comunitarias, por ejemplo, un nuevo centro recreativo (ENVINT & OSEA, 2010).

Entre los beneficios que ofrece un proyecto de energía renovable comunitaria según la ENVINT & OSEA (2010) se encuentran los económicos, ambientales y sociales que se presentan a continuación en la Tabla 1:

Tabla 1. Beneficios de la aplicación de energía renovable comunitaria.

Tipo de beneficio.	Beneficio.
Económicos.	• Ayuda a que una mayor parte del dinero gastado en energía permanezca en la economía local. • Genera empleos. • Agrega una nueva experiencia a la base de conocimientos de la comunidad. • Reduce la dependencia de combustibles fósiles foráneos. • Ayuda a igualar la generación con la carga del consumo energético. • Produce energía cuando hay más demanda.
Ambientales.	• Ayuda a reducir las emisiones de GEI. • Contribuye a menores pérdidas en la transmisión de energía en caso de comunidades interconectadas a la red. • Incrementa la conciencia en el uso de la energía. • Puede reducir la necesidad de industrias extractivas con la reducción de combustibles fósiles. • No crea problemas de basura difíciles de resolver. • No necesita grandes cantidades de agua para su funcionamiento.
Sociales.	• Brinda oportunidades de participación local. • Desarrolla habilidades y capacidad para proyectos e iniciativas a futuro. • Es un foro de expresión del entusiasmo y el interés de la gente en la energía renovable. • Propicia opciones y actividades de capacitación práctica. • Genera empleos y conocimientos de alta calidad y a largo plazo. • Puede convertirse en un símbolo de la comunidad y en motivo de orgullo e identidad.

El proceso ideal de aplicación debe ofrecer herramientas y conocimientos para que la comunidad tome una decisión informada mediante un proceso participativo, ya que será la comunidad quien decida si ejecuta el

proyecto y cómo se ejecutará (ENVINT & OSEA, 2010).

Es relevante precisar que los proyectos de energía renovable no logran ser sostenibles sino consideran los contextos socioculturales y la organización de las comunidades. Un

ejemplo de esto es el megaproyecto solar ubicado en Ticul, Yucatán, el cual generó resistencia local, derivada de la falta de consideración del contexto sociocultural local. El proyecto evidenció discriminación y una relación desigual entre los actores involucrados (El Mekaoui, Tariq, Ramirez, Othón, & Mendez-Monroy, 2020)

En México, el 30 de mayo del 2016 se dio a conocer el Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2016-2030, instrumento que contiene el Programa de Ampliación y modernización de las Redes Generales de Distribución, y que plantea como uno de sus objetivos extender el servicio de distribución a través de la promoción del uso sustentable de las Energías Renovables y el desarrollo de proyectos de generación distribuida (hasta 0.5 MW) (CRE, 2017)

Entre las disposiciones administrativas de carácter general en materia de generación distribuida están (CRE, 2017):

- Establecer los lineamientos generales en materia de Generación Distribuida
- Definir el modelo de contrato que celebran el distribuidor y el solicitante para la interconexión de centrales eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW.
- Establecer las especificaciones técnicas generales requeridas en materia de Generación Distribuida.
- Desarrollar una metodología para determinar la contraprestación aplicable por la energía eléctrica entregada.

Un caso de éxito en materia de generación distribuida con una visión sustentable es la presentada por El-Mekaoui (2024), donde la contribución del proyecto radica en la integración equilibrada de aspectos técnicos, económicos y sociales, fundamentada en una

metodología de investigación participativa. Este estudio demuestra que la implementación de sistemas híbridos de energía renovable para el bombeo de agua en comunidades indígenas es una solución viable desde perspectivas sociales, económicas, energéticas y ambientales.

Justificación

En Dzityá como en el resto del Estado de Yucatán, la artesanía sigue siendo en su mayor parte el fruto de la tradición de los pueblos indígenas y, más claramente, un elemento clave en los actuales procesos de reafirmación identitaria o étnica. Más aún, en el contexto de Dzityá, la producción artesanal es un marcador fuerte de identidad (Guatzozón, 2019). En Dzityá existen 2,098 habitantes, el porcentaje de mujeres es de 51%, y del total de habitantes en su mayoría se dedican al trabajo artesanal en piedra y madera (INEGI, 2021).

La energía eléctrica es un insumo primario para la realización de actividades productivas en todo el país. El crecimiento de la industria eléctrica muestra mayor dinamismo comparado con el de otras actividades económicas y con el de la economía en su conjunto. De 2005 a 2015, creció una tasa promedio anual de 5.3% en comparación con el 2.4% del PIB nacional (SENER, 2016). En Dzityá actualmente el 90% de la producción artesanal en piedra de Dzityá está dedicada al sector de la construcción como molduras; recubrimientos de pisos y paredes; mesetas o cubiertas para cocinas y baños; columnas; chimeneas; fuentes; entre otros. Es recalable que solo el 10% son productos artesanales al 100%, ya que, si bien los productos destinados a construcción aún presentan importante participación manual, se asemejan más al trabajo industrial y carecen de elementos culturales locales (Jácome, 2018)

El 70% de los talleres dirige su producción a la construcción en serie semi industrializada, el 8%

de igual manera se dirige al sector de la construcción, realizando una producción más manual y no semi industrializada y el 21% una producción mixta (Reyes, 2020). Con esto se visualiza la importancia de la implementación de una estrategia que permita el aprovechamiento sustentable de los recursos, entre ellos los energéticos.

Objetivo

El objetivo del trabajo de investigación es brindar un panorama integral de los retos y oportunidades que presenta la integración de energías renovables de carácter comunitario en Dzityá, Yucatán, específicamente en los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red, y cuáles serían las condiciones que deben existir para que su implementación sea exitosa.

Metodología

La Evaluación Ambiental Estratégica es un instrumento para el desarrollo nacional o regional de políticas, planes y programas, que considera los siguientes puntos prioritarios: el debate público y gubernamental para una mejor gobernanza y un fortalecimiento institucional, un enfoque sostenible que busca analizar e integrar interconexiones: ambientales, sociales y económicas, un análisis interdisciplinario continuo y flexible durante la toma de decisiones y la implementación y por último, brinda información de calidad y de acceso público (Patiño, 2017).

Debido a la naturaleza del trabajo de investigación se partió de la metodología de la Evaluación Ambiental Estratégica la cual según Jiliberto & Bonilla (2009), es un instrumento de apoyo para la incorporación de la dimensión social y ambiental a la toma de decisiones estratégicas, las que usualmente se identifican con políticas, estrategias, planes o programas; y como tal es un procedimiento de mejora de estos instrumentos de planificación.

Tabla 2. Fases de la Evaluación Ambiental Estratégica.

Numero de etapa.	Nombre de la etapa.	Descripción etapa.
1	Marco ambiental estratégico.	Establecimiento de las bases de la EAE.
2	Alcance de la EAE.	Considerar el alcance de la EAE. Elaboración síntesis Documento de la EAE. Realización de consultas a los agentes, consensuar el documento.
3	Modelo de evaluación ambiental.	Definición del modelo de EAE y elaboración de las herramientas de evaluación y análisis y sistema de información de la EAE.
4	Análisis y diagnostico ambiental.	Análisis y diagnóstico de la situación actual. Realización de consultas a los agentes y comunicación. Definición de objetivos ambientales operáticos.

5	Evaluación ambiental de alternativas.	Evaluación ambiental de opciones a nivel de objetivos de opciones estratégicas y operativas. Consultas a los agentes y comunicación. Evaluación de las recomendaciones de la EAE.
6	Fase de prevención-seguimiento.	Identificación de instrumentos de gestión ambiental directa y elaboración de medidas de seguimiento ambiental del plan.
7	Fase de elaboración y consultas de informes finales.	Elaboración del informe de la EAE que da cuenta del trabajo realizado para incorporar la dimensión ambiental. Consultas a los agentes y comunicación. Elaboración del informe resumen del proceso de EAE.

Fuente: Elaboración propia a partir de Jiliberto & Bonilla (2009).

Para fines del trabajo de investigación no se implementó la instalación de tecnología fotovoltaica, sino que únicamente se realizó el ejercicio teórico con los pobladores, partiendo de las consideraciones y pasos mencionado en la tabla 2.

El alcance de este trabajo de investigación es descriptivo, ya que se plantea un panorama claro de la situación energética que se vive en

la comunidad de Dzityá, Yucatán. Partiendo de las consideraciones de la EAE, este estudio consta de tres etapas fundamentales. Primero, el análisis técnico-económico a través de datos secundarios y visitas de campo. El segundo punto es el análisis social de los impactos de la aplicación de tecnología de energía fotovoltaica en Dzityá y cuál es la visión de los pobladores. Por último, se realizó el análisis jurídico de acuerdo con la normativa existente. Los pasos principales aparecen en la tabla 3.

Tabla 3. Pasos generales por seguir durante la investigación.

Numero de paso.	Acción realizada.	Descripción.
1	Acercamiento con los actores	Acercamiento con los actores, para conocerlos y que logren identificarme como investigador.
2	Presentación de la problemática.	Se les presentó a los actores los objetivos generales y el fin del proyecto.
3	Levantamiento en terreno ejidal.	Se llevó a cabo un levantamiento técnico para conocer el estado del terreno ejidal, lugar en el que se propone la instalación de

		energías renovables de manera comunitaria.
4	Recolección de datos del recurso solar.	Se recolectó la información para conocer el recurso solar en el terreno, esto por medio de datos secundarios.
5	Análisis de la factibilidad técnica	De acuerdo con las condiciones eléctricas de la comunidad, del sistema eléctrico regional y con la información recopilada, se definieron las condiciones necesarias para la factibilidad técnica de la implementación.
6	Análisis económico de la central de energías renovables.	Con base al terreno disponible y conforme al recurso solar y eólico medido, definir los costos y beneficios que el sistema generará en la comunidad.
7	Análisis de la factibilidad normativa.	Con base a la legislación vigente, se analizó la factibilidad de implementación de la central de energías renovables bajo un esquema comunitario.
8	Generación de conclusiones y evaluación de resultados.	Con base en los datos obtenidos se elaboraron las conclusiones.
9	Presentación de conclusiones a la comunidad.	Las conclusiones obtenidas se presentaron y divulgaron entre la comunidad.

Fuente: Elaboración propia.

Se definió como unidad de análisis a todo aquel habitante de la comunidad de Dzityá. Al mismo tiempo, se seleccionaron a 4 líderes comunitarios para entrevistarlos acerca de las energías renovables, sus respuestas se contrastaron con una encuesta realizada al azar a 110 padres de familia de la primaria de Dzityá.

Con todo lo anterior se integró el análisis de la factibilidad de implementación de una central de energías renovables, la cual depende de las siguientes variables: factibilidad técnica, factibilidad social, factibilidad normativa y factibilidad económica.

Entre los instrumentos utilizados se encuentran los datos secundarios, que se analizaron con el fin de revisar estudios topográficos previos y mediciones de recurso solar. Se aplicó una encuesta (escala Likert) de 10 preguntas a 110 padres de familia de la primaria de la comunidad, las preguntas de la encuesta se encuentran en la sección de resultados, específicamente en el análisis socioeconómico. La encuesta se aplicó con el fin de conocer el panorama general existente, acerca de las energías renovables y su aplicación en Dzityá desde el conocimiento de los padres de familia. Así mismo se aplicó una entrevista semiestructurada a 4 líderes comunitarios: el comisario ejidal, al presidente la unión de artesanos de piedra, a la dueña de un negocio local y a un artesano de piedra. Lo anterior con el fin de que los actores comunitarios otorguen la información más concreta con relación a sus intereses y sus preocupaciones en el contexto actual (social y energético). La entrevista estuvo alineada al enfoque de la escala Likert, brindando oportunidad a los líderes comunitarios de externar una opinión más amplia.

Fortalezas y limitaciones metodológicas

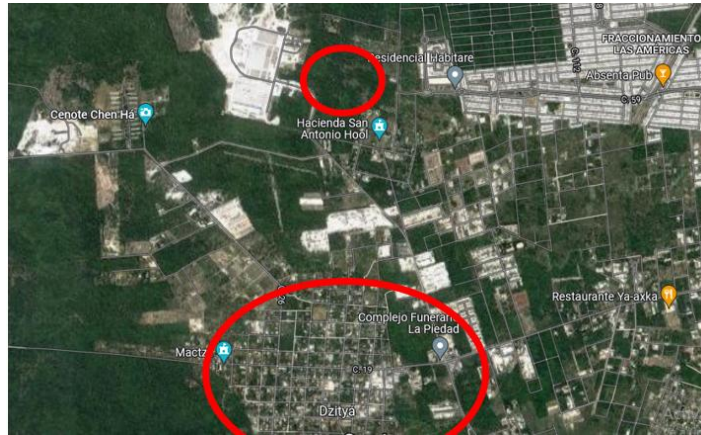
Las actividades desarrolladas durante el trabajo de investigación se realizaron en un contexto pandémico, lo que limitó la accesibilidad de algunos actores clave. No obstante, debido a

que la población de estudio había desarrollado trabajos anteriores con la institución educativa, existió un ambiente de confianza y apertura hacia el investigador, lo que resultó en información, en esencia, más representativa. Así mismo, debido a la falta de infraestructura, no se logró profundizar el análisis ambiental. Añadir indicadores del impacto en la flora y fauna existente hubiera permitido realizar un análisis más completo.

Resultados y discusión de resultados

La comisaría de Dzityá cuenta con un amplio terreno de aproximadamente 18 Ha y, partiendo de la información obtenida del comisario ejidal, se ubica al norte de la comisaría, cerca de los terrenos de la Hacienda San Antonio Hool. En la figura 2 se observa la imagen satelital de la zona, donde el círculo rojo más pequeño rodea la ubicación aproximada del terreno y el círculo rojo grande encierra la comisaría de Dzityá. El comisario ejidal mencionó que los terrenos mencionados no pueden venderse debido a un acuerdo entre ejidatarios en el cual hacen hincapié en que este terreno debe ser utilizado para beneficio de la comunidad. Actualmente, la propuesta se basa en los desarrollos futuros de los siguientes espacios: centro de desarrollo escolar, unidad agrícola de la mujer y unidad productiva para el desarrollo integral de la juventud.

Figura 2. Ubicación del terreno ejidal donado a la comisaría de Dzityá.



Fuente: Elaboración propia.

Según la SEMARNAT (2016), el promedio del consumo de luz por vivienda en Yucatán es de 2,380 KWh al año, considerando un promedio de 3.70 personas por hogar. Es decir, el promedio del consumo por persona es de

643.25 KWh al año. Considerando que Dzityá cuenta con una población aproximada de 2,098 habitantes, resulta que el consumo anual de la comunidad se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$CD_{AÑO} = (CP_{AÑO})(PD) = \left(643.25 \frac{kWh}{año}\right)(2,098) = 1,349,638 \frac{kWh}{año}$$

$CP_{AÑO}$ = Consumo promedio por persona al año.

PD = Población de Dzityá.

$CD_{AÑO}$ = Consumo de Dzityá al año.

A partir de las consideraciones planteadas se puede determinar que para una planta de energía fotovoltaica que satisfaga las necesidades energéticas de la comunidad de Dzityá debe poder producir 1,349,638 KWh de

energía anual. Es decir, un promedio aproximado de 3,698 kwh al día. En Yucatán se cuenta con un recurso solar de 4.8 horas solares, con esto la potencia necesaria de una planta se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$PN = \frac{C}{HSP} = \frac{3698}{4.8} = 760.20 kW$$

C = Consumo energetico en kWh al día.

HSP = Hora Solar Pico en $\frac{kW}{m^2}$

PN = Potencia Nominal de la planta

Como se analiza posteriormente en la sección de factibilidad normativa, el límite para una central de generación distribuida es de 500 kW. Es importante considerar que el valor de potencia de los módulos fotovoltaicos que se utilizan hoy en día en el mercado es de 600 W, por lo que para calcular el número de módulos necesarios se utiliza la siguiente ecuación:

$$NM = \frac{PN}{PM} = 834$$

PN = Potencia Nominal de la planta.

PM = Potencia del módulo a utilizar.

NM = Número de módulos.

A partir del número de módulos se utiliza la siguiente ecuación para calcular la producción energética con la que contará la planta:

$$PFV_{ANUAL} = (PM)(NM)(HSP) (365 \text{ DIAS}) = (.600) (834) (4.8) (365) = 876.70$$

NM = Número de módulos.

PM = Potencia del Módulo en kW.

HSP = Hora solar pico.

PFV_{ANUAL} = Producción fotovoltaica al año en MWh.

Es decir, del total de consumo comunitario que es de 1,349,638 kWh/año solo se abastecería 876,700.80 kWh/año, lo que representa el 65% del consumo energético de la comunidad. De igual manera, cada módulo ocupa un área aproximada de 2.87 metros cuadrados, por lo que, considerando los 834 módulos y el espacio que debe haber entre las filas de módulos se estima que se necesitaría un área aproximada de 2,988 metros cuadrados o 0.30 Ha lo que representa únicamente el 1.7% del total del terreno ejidal presentado en la Figura 2.

El terreno ejidal se encuentra ubicado a un costado de la carretera Periférico-San Antonio Hool, por lo que ya se cuentan con líneas de distribución en esta zona, las cuales tienen una capacidad de integración aún disponible de 4,602 kW, lo que resulta viable considerando que únicamente se instalaría una central de 500 kW (CFE, 2025).

Análisis normativo

El análisis normativo parte de la ley de la industria eléctrica que menciona tener como

finalidad el promover el desarrollo sustentable de la industria eléctrica y garantizar su operación continua, eficiente y segura en beneficio de los usuarios, así como el cumplimiento de las obligaciones de servicio público y universal, de Energías Limpias y de reducción de emisiones contaminantes (SEGOB, 2021).

De igual manera, en el documento se menciona que las actividades de generación, transmisión, distribución, comercialización y el control operativo del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) son de utilidad pública y se sujetarán a obligaciones de servicio público y universal en términos de esta Ley y de las disposiciones aplicables, a fin de lograr el cabal cumplimiento de los objetivos establecidos en este ordenamiento legal. La ley de la Industria Eléctrica menciona que se debe otorgar acceso abierto a la Red Nacional de Transmisión y las Redes Generales de Distribución en términos no indebidamente discriminatorios, cuando sea técnicamente factible (SEGOB, 2021). Es decir, que si no existen barreras técnicas no se podrá negar la integración de centrales de cualquier tipo al SEN.

La ley de la industria eléctrica menciona que, para centrales con capacidad mayor o igual a 0.5 MW y las Centrales Eléctricas de cualquier tamaño representadas por un generador en el Mercado Eléctrico Mayorista, requieren permiso otorgado por la Comisión Reguladora de Energía (CRE) para producir energía eléctrica en el territorio nacional (SEGOB, 2021). La aplicación de este tipo de centrales representa un reto importante, por lo que, para el caso de una comisaría como Dzityá convendría enfocar los esfuerzos hacia centrales de una capacidad menor a 0.5 MW ya que el marco normativo presenta mayor flexibilidad, la infraestructura necesaria es más accesible y la demanda energética de la comunidad se podría cubrir en su mayoría.

Para los generadores exentos o generadores con una capacidad menor a 0.5 MW, el acceso a la red no requiere permisos especiales de la CRE y se podrán interconectar siempre que sea técnicamente factible (SEGOB, 2021). Es relevante precisar que actualmente existe la intención de ampliar la potencia de los generadores exentos a 0.7 MW, lo que brindaría oportunidad de satisfacer en mayor medida las necesidades comunitarias planteadas en este trabajo de investigación. No obstante, aún no se ha publicado la reforma en el Diario Oficial de la Federación (DOF), por lo que carece de validez oficial.

Así mismo, la ley establece que Los Generadores Exentos podrán vender energía eléctrica y productos asociados a través de un suministrador de servicios básicos. Para estos casos, la CRE emitirá los modelos de contrato y metodologías de cálculo, criterios y bases para determinar y actualizar las contraprestaciones aplicables, que reflejarán el valor económico que produzca al suministrador. Los Generadores Exentos también podrán vender energía eléctrica y productos asociados a través de un suministrador de servicios

calificados, siempre y cuando las centrales eléctricas no compartan su medición con el centro de carga de un usuario de suministro básico (SEGOB, 2021). Las pequeñas plantas menores a 0.5 MW podrán vender la energía que produzcan, siempre y cuando esta sea únicamente para venta y no autoconsumo. Esto permite que en Dzityá exista la posibilidad de implementar una central de energías renovables desde el ámbito normativo, siempre y cuando sea técnicamente factible.

En documento de la CRE (2017), se menciona que, de acuerdo con el manual de interconexión, los generadores exentos, incluyendo a los que representen centrales eléctricas de generación distribuida, podrán realizar las siguientes actividades:

- I. Consumo de Centros de Carga.
- II. Venta de excedentes de la energía eléctrica.
- III. Venta total de energía eléctrica.

De lo anterior, se infiere que no existe un modo de interconexión que permita el auto abasto comunitario o la posibilidad de una comunidad de auto-consumidores de energías renovables. Por lo tanto, existe una necesidad social de brindar nuevos esquemas de interconexión para comunidades que buscan unificar esfuerzos con el fin de consumir energías alternativas y al mismo tiempo obtener un beneficio económico derivado del ahorro.

Análisis de factibilidad socioeconómica

Partiendo de la premisa presentada en la sección anterior, en donde se plasma que la única manera en la que la comunidad podría sacar un beneficio de la pequeña central es bajo un esquema monetario. La generación distribuida bajo un esquema de “venta total” se paga mediante el mecanismo de Precio Marginal Local (PML) el cual se consulta en la página oficial de la Centro Nacional de Control

de Energía (CENACE). Este precio varía de acuerdo con el punto de interconexión y como se observa en la tabla 4, para el caso del norte de Mérida. el precio promedio por MWh es de \$888.69, considerando los últimos 12 meses disponibles en la página oficial de la CENACE

(CENACE, 2025). Es relevante destacar que para el cálculo del precio promedio del PML solo se consideró el intervalo de horas de 10AM a 4PM, debido a que son las horas de mayor generación solar.

Tabla 4. PML promedio en nodo de la zona norte de Mérida 08NTE-115.

MES	PML (\$/MWh)
feb-24	\$ 457.84
mar-24	\$ 657.32
abr-24	\$ 1,317.61
may-24	\$ 1,922.55
jun-24	\$ 1,554.43
jul-24	\$ 688.94
ago-24	\$ 548.12
sep-24	\$ 681.67
oct-24	\$ 422.15
nov-24	\$ 599.73
dic-24	\$ 601.60
ene-25	\$ 1,212.36
PROMEDIO	\$ 888.69

Las Asociaciones Mexicanas de Energía Solar (ASOLMEX) calculan que en México el costo por Watt de energía fotovoltaica instalado es de 1.0 USD (IVA incluido) para instalaciones de

250 a 500 kW de potencia (ASOLMEX, 2021). Es decir, para el caso de Dzityá, donde se considera una planta de 500kw de potencia, la inversión aproximada se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$INV = (NM)(PM_{WATTS})(1 \text{ USD}) = (834)(600)(1) = 500,400.00 \text{ USD}$$

$INV = \text{Inversión inicial}$

$NM = \text{Número de módulos}$

$PM_{WATTS} = \text{Potencia del módulo en watts.}$

Considerando 1 USD como 20 MXN y que la producción de la planta sería de aproximadamente 876.7 MWh al año,

mediante los valores obtenidos en los cálculos previos resulta el siguiente retorno de inversión:

$$ROI = \frac{(20 \text{ MXN})(INV)}{(PFV_{ANUAL})(PML)} = \frac{(20 \text{ MXN})(500,400 \text{ USD})}{(876.70 \text{ MWh}_{\text{AÑO}})(888.69 \text{ MXN})} = 12.85$$

ROI = Retorno de inversión en años.

INV = Inversión inicial.

PFV_{ANUAL} = Producción fotovoltaica en MWh al año.

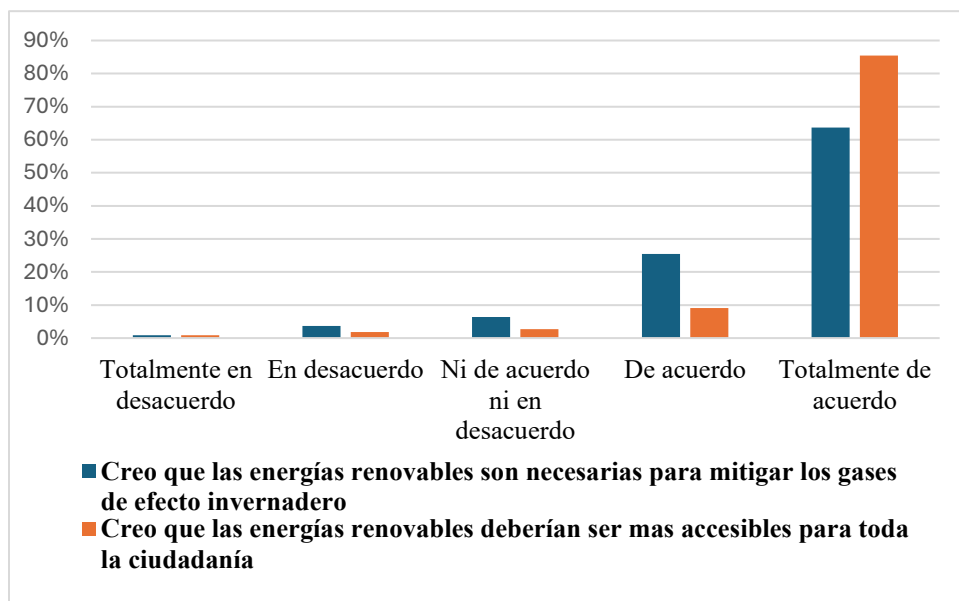
PML = Precio marginal local promedio.

Se necesitarían aproximadamente 12.85 años para recuperar la inversión inicial, algo que no resulta atractivo para los pobladores, además de que para operar en un modelo de “venta total” se requiere una compleja gestión de la formación de una cooperativa energética, donde todos los interesados tendrían que fungir como socios o miembros. El análisis anterior demuestra que la legislación debe profundizar en brindar esquemas de interconexión comunitaria de manera no monetaria.

Por otra parte, en la comunidad de Dzityá se aplicó una encuesta a 110 padres de familia de la primaria de la comunidad, donde se ilustra

una postura general acerca del tema de las energías renovables en la población. En dicha encuesta se pondera el 1 como TOTALMENTE EN DESACUERDO y el 5 como TOTALMENTE DE ACUERDO. Se complementó la información de la encuesta con entrevistas semiestructuradas realizadas a cuatro actores claves de la comunidad. En la Figura 3 se observa que los pobladores consideran de manera general saber qué son las energías renovables y opinar que estas tienen más beneficios que perjuicios. Entre los beneficios principales los pobladores comentan que está el cuidado del medio ambiente y la noción de que Dzityá tiene un vasto recurso, principalmente solar.

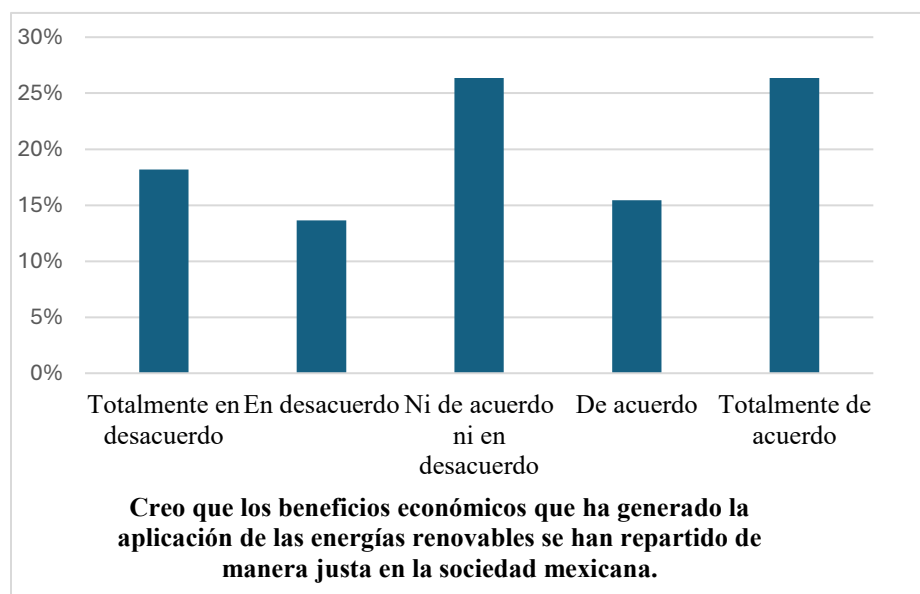
Figura 3. Visión general de las energías renovables en Dzityá.



A pesar de opinar que las energías renovables tienen más ventajas que desventajas es un hecho que existe inconformidad acerca de la repartición de beneficios que ha obtenido la aplicación de esta tecnología. Mencionan que han notado que existe variedad de plantas de

generación en Yucatán, resaltando principalmente la que se encuentra en la playa de Progreso, Yucatán, sin embargo, consideran que no han recibido ningún beneficio de la aplicación de este tipo de tecnología, lo que se puede constatar en la Figura 4.

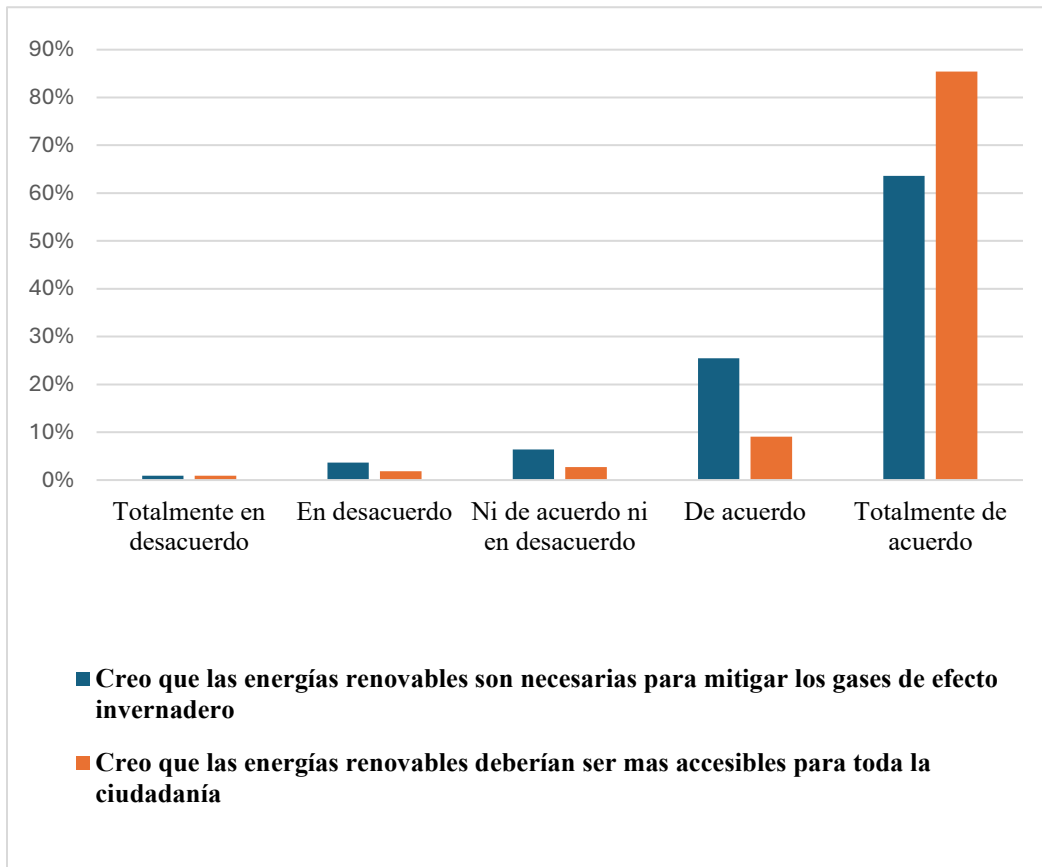
Figura 4. Visión de la repartición de los beneficios económicos de las energías renovables.



De la Figura 5 se puede inferir que existe un conocimiento general de que las energías renovables son necesarias para mitigar los gases de efecto invernadero provocados por la sociedad y las industrias. Así mismo, mencionan que esta tecnología aun no es accesible para toda la ciudadanía, este punto se

considera como la mayor desventaja de la transición energética por parte de los pobladores. Es necesario considerar el contexto en que se encuentra Dzityá, donde la mayoría de los pobladores no perciben ingresos suficientes para poder costear de manera individual tecnología de esta naturaleza.

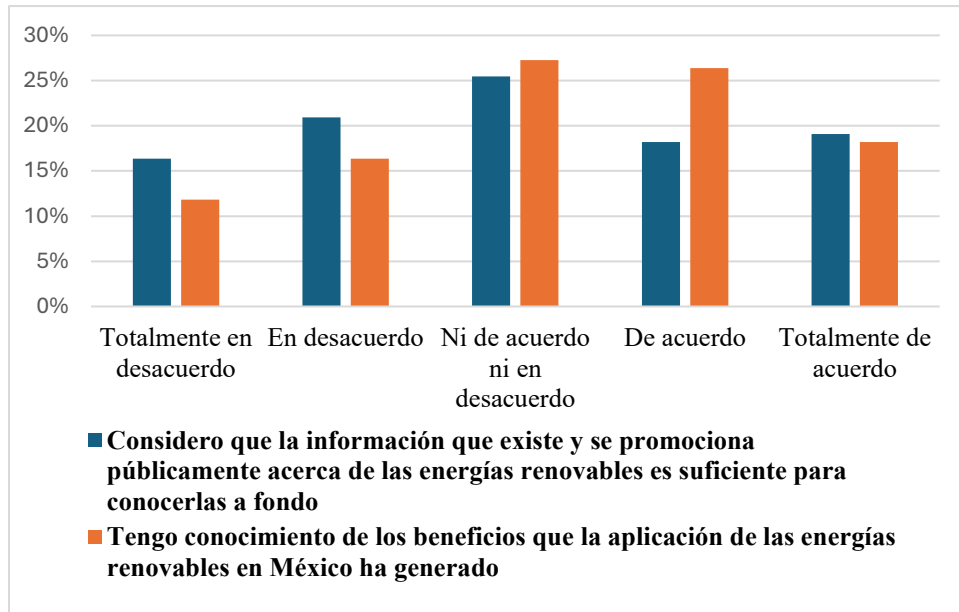
Figura 5. Energías renovables para la mitigación de GEI y accesibilidad percibida.



Se plasma una clara incertidumbre de la información pública que existe sobre el tema de las energías renovables. En la Figura 6 se visualiza una distribución equilibrada de la muestra donde se observa que más del 50% no responde de manera positiva al cuestionamiento de el acceso a la información pública en materia de tecnología de energías

renovables. Esto se refuerza observando que una parte importante de los encuestados mencionan no conocer los beneficios que la aplicación de las energías renovables ha generado en México. Mencionan que solamente saben que están ahí (haciendo referencia a la planta Eólica de Progreso), pero que no entienden que beneficio han obtenido si los precios de electricidad siguen aumentando.

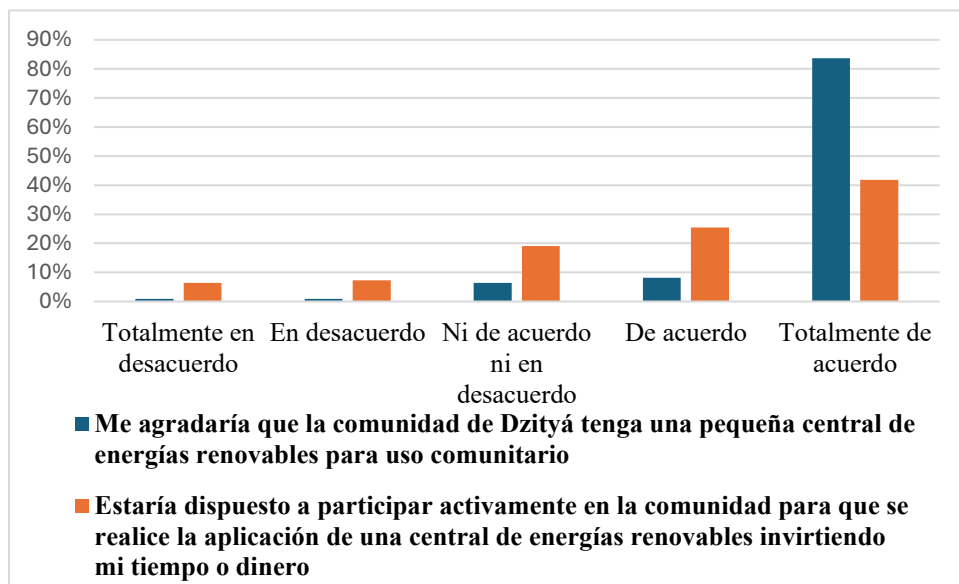
Figura 6. Percepción de los habitantes de Dzityá sobre la información pública de las energías renovables.



Se ilustra que existe un interés en la sociedad de implementar este tipo de tecnologías, y con ello, mencionan estar en la disponibilidad de participar, ya sea operativamente o invirtiendo recurso monetario. Sin embargo, destacan que

es imprescindible que los beneficios que pueda generar una futura planta de energías renovables se distribuyan de manera equitativa en la comunidad, esto se visualiza en la Figura 7.

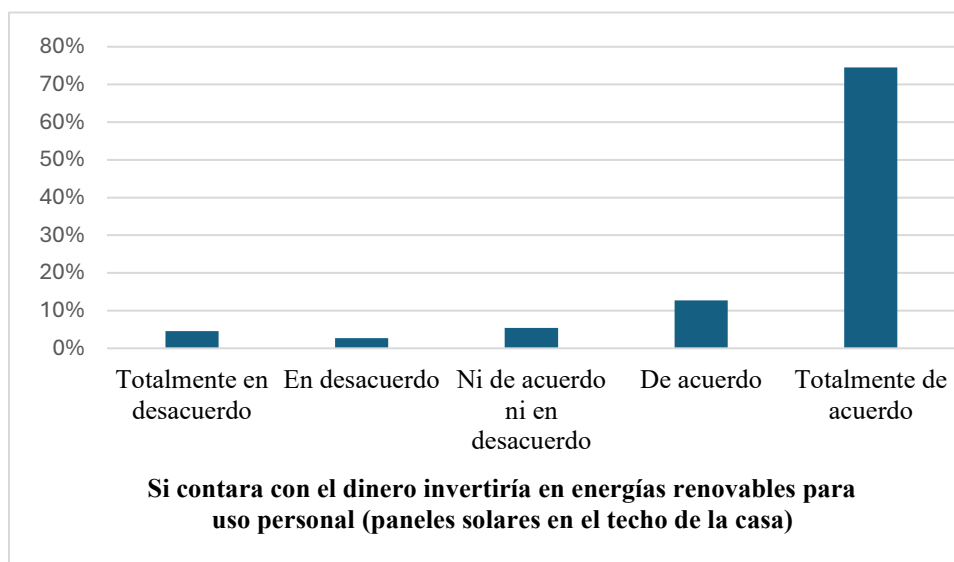
Figura 7. Aplicación de las energías renovables en Dzityá.



Se percibe un carácter individualista muy marcado en la sociedad de Dzityá, ya que al preguntarles si invertirían su recurso monetario en la implementación de la tecnología para uso personal existe una marcada diferencia

positiva en comparación con la que se ve en la pregunta de la Figura 8. Esto exhibe que los habitantes de la comunidad priorizan el bien personal antes que el grupal, algo que resulta similar en comunidades de la península de Yucatán, esto se ilustra en la Figura 8

Figura 8. Energías renovables para uso personal en Dzityá.



Conclusiones

A pesar de que los alrededores de Dzityá están ocupados por numerosos fraccionamiento nuevos y modernos, se percibe en la comunidad de Dzityá un ambiente no urbanizado. Esta situación parece mantenerse debido a que los pobladores siguen valorando diferentes maneras de vivir y ponen como prioridad la paz y la tranquilidad que un ambiente no urbanizado presenta naturalmente.

Existe una alta factibilidad técnica para la aplicación de una pequeña central de energías renovables comunitaria en Dzityá. Existe un

amplio terreno del cual solo se necesitaría una mínima parte para realizar la instalación y además existe la adecuada infraestructura de las redes de distribución lo que permite un punto de interconexión cercano y el recurso solar en esta zona, como en casi toda la península de Yucatán, es vasto. Así mismo, actualmente se pretenden realizar modificaciones a las leyes que regulan la generación distribuida, por lo que futuras investigaciones deben considerar las legislaciones vigentes.

En el ámbito social, existe un alto grado de aceptación con respecto a este tipo de

tecnología en Dzityá. Un proyecto de estas características permitirá un trabajo colaborativo que fortalecería la identidad comunitaria de los actores participantes. Es pertinente acercar a la comunidad a proyectos de esta naturaleza, donde la tecnología lejos de usarse para la depredación se utilice para la conjunción comunitaria, el cuidado medioambiental y el fortalecimiento de la economía familiar. Está demostrado que la infraestructura energética aplicada mediante procesos participativos que fomentan el autoabasto y la sustentabilidad en todos sus componentes, puede fungir como catalizador social que mejore el colectivismo y el bienestar.

La normativa existente es muy limitada respecto a proyectos de esta naturaleza, siendo este el punto crítico que limita el desarrollo de pequeñas centrales alrededor del estado y el país. Al no existir un modelo de “auto-abasto comunitario”, la única manera de interconectar la central sería en un esquema de “venta total”, cosa que puede resultar poco atractivo en cuestiones de rendimiento económico, además de que la “venta total” requeriría un complejo proceso donde todos los participantes se organicen y gestionen la formación de una cooperativa energética. Lo anterior demuestra la debilidad en la legislación energética, donde las opciones son limitadas para colectivos o comunidades que buscan satisfacer sus necesidades energéticas a través del autoconsumo y no mediante un sistema lucrativo.

Es necesario desarrollar los mecanismos administrativos para que las comunidades o colectivos que lo deseen puedan autoabastecer sus necesidades energéticas, sin la necesidad de compartir un único punto de interconexión. Este tipo de modificaciones requeriría que el encargado del suministro eléctrico, es decir, “CFE SUMINISTRO-MEDICIÓN” diseñe complejos mecanismos administrativos que permitan relacionar diferentes puntos de interconexión a un mismo contrato, es decir, que una planta de generación cercana a una vivienda pueda abastecer su consumo energético parcial o totalmente utilizando la facturación como medio de aprovechamiento. Este tipo de modificaciones requieren cambios administrativos más estructurados, así como un cambio de paradigma en la operación del mercado eléctrico y la transición energética donde se refuerce la sustentabilidad, no únicamente desde la perspectiva económico-ambiental, sino también desde la social.

Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el CONAHCYT (actualmente SECIHTI) mediante el número de CVU 1082231. The authors acknowledge the support provided by the Thematic Network 723RT0150 “Red para la integración a gran escala de energías renovables en sistemas eléctricos (RIBIERSE-CYTED)” financed by the call for Thematic Networks of the CYTED (Ibero-American Program of Science and Technology for Development) for 2022

Referencias

- Acosta, A. (2015). *El buen vivir como alternativa al desarrollo. Algunas reflexiones económicas y no tan económicas*. Ecuador: FLACSO.
- ASOLMEX. (2021). *Monitor de información comercial e Índice de Precios de Generación Solar Distribuida en México*. CDMX: Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ) de Alemania.

- Cardona, J. C. (2018). *La primera transición energética de Menorca*. Menorca: Institut Menorquí d'Estudis.
- CENACE. (09 de 94 de 2025). *PRECIOS MARGINALES LOCALES PMR*. Obtenido de PRECIOS MARGINALES LOCALES PMR: <https://www.cenace.gob.mx/Paginas/SIM/Reportes/PreEnerServConMTR.aspx>
- CFE. (30 de 03 de 2025). *App Distribución CFE*. Obtenido de App Distribución CFE: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/GeneracionDistribuida/GeneracionDistribuida>
- CRE. (2017). *Diario Oficial: Resolución de la CRE*. CDMX: Gobierno de México.
- CRE. (2025). App MEM. *PML Mercado Eléctrico Mayorista*.
- El Mekaoui, A., Cetina-Quñones, A., Castilla Reyes, A., San Pedro, L., Tapia, J., Canto-Esquivel, J. C., & Bassam, A. (2024). Empowering indigenous groups: Unveiling a new approach to adaptive-participative sustainable energy in solar pumping projects via a Mayan community in Central America. *Energy Research and Social Science*, 114.
- El Mekaoui, A., Tariq, R., Ramirez, B., Othón, & Mendez-Monroy, P. (2020). Sustainability, Sociocultural Challenges, and New Power of Capitalism for Renewable Energy Megaprojects in an Indigenous Mayan Community of Mexico. *sustainability*, 7432.
- ENVINT, & OSEA. (2010). *Guía para el desarrollo de proyectos comunitarios de energía renovable en América del Norte*. Montreal: Comisión para la cooperación ambiental.
- Guatzozón, M. C. (2019). Contexto actual de los micronegocios de artesanías de madera en la comisaría de Dzityá, Yucatán. *REAXION*, 1.
- Gutiérrez, E., & González, E. (2010). *De las teorías del desarrollo al desarrollo sustentable*. México: Universidad Autónoma de Nuevo León.
- INEGI. (22 de 02 de 2021). *INEGI MAPAS*. Obtenido de INEGI MAPAS: <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/espacioydatos/?ll=21.046831497355612,-89.67604417238408&z=14&tem=123un0000nedundefinedundefinedundefinedundefinedundefined000&subt=123undefinedundefinedundefinedundefinedundefinedundefinedundefined000&ssubt=6207020632&ind=62070206>
- Jácome, A. G. (2018). *Experiencia de vinculación entre el instituto Tecnológico de Mérida y la actividad artesanal en piedra de Dzityá Yucatán, hacia una red de conocimiento sustentable, Tesis de la Maestría en Planificación de Empresas y Desarrollo Regional*. Mérida, Yucatán.: Instituto Tecnológico de Mérida.
- Jarauta, L. (2010). *Las Energías Renovables*. Barcelona: UOC.
- Jiliberto, R., & Bonilla, M. (2009). *Guía de evaluación ambiental estratégica*. Santiago, Chile.: CEPAL.
- Martínez, J. (2018). Tendencias globales y la emergencia de la economía social y solidaria. En B. Marañón, *Solidaridad económica, buenos vivires y descolonialidad del poder* (págs. 43 - 54). Colombia: Universidad del Valle.

- ONU. (2020). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2020*. España: Lois Jensen.
- Patiño, R. (2017). *La necesidad de una Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) en los planes de desarrollo de proyectos de infraestructura para generación eléctrica con recursos solares y eólicos en la península de Yucatán*. Mérida, Yucatán: CINVESTAV.
- Reyes, G. M. (2020). *Por definir, Tesis de la Maestría en Planificación de Empresas y Desarrollo Regional*. Mérida, Yucatán: Instituto Tecnológico de Mérida.
- SEGOB. (2021). *Ley de la industria eléctrica*. CDMX: Diario oficial de la federación reformada al 09-03-2021.
- SEMARNAT. (2016). *SERMARNAT*. Recuperado el 24 de Marzo de 2022, de https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/compendio_2021/dgeiawf.semarnat.gob.mx_8080/ibi_apps/WFServlet1a10.html
- SENER. (2016). *Programa de desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional 2016-2030*. CDMX: PROSEDEN.
- Wiatros-Motyka, M. (2023). *Global Electricity Review 2023*. EMBER.