



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
POSGRADO EN INGENIERIA  
MAESTRIA EN INGENIERIA ENERGIA (SISTEMAS ENERGÉTICOS)

**EXTENSIÓN DE LA RED ELÉCTRICA A LAS COMUNIDADES  
AISLADAS, EL CASO DE CHIAPAS.**

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
**DIAZ MERCADO JUAN MANUEL**

TUTOR  
Dr. Víctor Rodríguez Padilla  
Facultad de Ingeniería, UNAM

Ciudad Universitaria, Coyoacán, Ciudad de México



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## Índice general

Introducción.....	5
Objetivo general .....	10
Objetivos particulares.....	10
Capítulo I. Contexto de la energía eléctrica.....	12
I.I. Generalidades y antecedentes históricos .....	12
I.II. Desarrollo sustentable, enfoque energético-eléctrico.....	14
I.III. Casos internacionales.....	16
I.IV. Entorno nacional.....	18
I.V. El estado de Chiapas .....	21
Capítulo II El sentido financiero y la importancia de la energía eléctrica nacional.....	23
II.I. La inversión pública y los gastos en electrificación.....	23
II.II. La importancia de la electrificación.....	24
Capítulo III. Desarrollo de metodología.....	27
III.I. Costos de una instalación-metodología.....	27
Capítulo IV. Resultados conexión convencional .....	32
IV.I. Costos y poblaciones totales .....	32
Capítulo V. Resultados Conexión Sistema Aislado .....	38
V.I. Alternativas Costo-Energía solar Fotovoltaica.....	38
V.II. Determinación de alternativa-Costos y requerimientos .....	45
V.III. Propuesta de soluciones.....	49
Conclusiones .....	54
Referencias .....	59

## Índice de Tablas y Figuras

Figura 1. Regiones de control.....	18
Figura 2. Sistema Eléctrico Nacional.....	19
Figura 3. Porcentaje de población en situación de pobreza, 2010.....	21
Figura 4. Inventario nacional de viviendas 2016, Amatan.....	27
Figura 5. Potencial eléctrico fotovoltaico 2019, México.....	41
Figura 6. Irradiación global horizontal 2019, México .....	42
Figura 7. Potencial eléctrico fotovoltaico 2019, China.....	43
Figura 8. Potencial eléctrico fotovoltaico 2019, Alemania.....	44
Gráfica 1. Viviendas de cada cien que cuentan con electricidad.....	20
Gráfica 2. Costo de instalación convencional contra número de habitantes.....	34
Gráfica 3. Costo de instalación convencional contra consumo kWh.....	34
Gráfica 4. Costo de instalación convencional contra distancia entre poblaciones.....	35
Gráfica 5. Distancias contra número de habitantes.....	36
Gráfica 6. Costo por persona contra el número de habitantes.....	37
Gráfica 7. Costo total de sistemas contra número de habitantes.....	50
Gráfica 8. Comparación de costos entre solar y convencional entre consumo.....	51
Gráfica 9. Comparación de costos entre solar y convencional entre población.....	51
Gráfica 10. Comparación de costos entre solar y convencional entre distancia.....	52
Tabla 1. Cuadro de carga.....	28
Tabla 2. Costo por kilómetro de líneas de distribución para redes aéreas. Poste de madera- área rural.....	28
Tabla 3. Costo de instalación de líneas aéreas de baja tensión.....	29
Tabla 4. Costo de instalación de transformadores monofásicos de retorno por tierra para redes aéreas.....	29
Tabla 5. Costo de seccionamiento automático en redes de distribución.....	30
Tabla 6. Costo de estructuras de media tensión.....	30
Tabla 7. Consumo de casa promedio.....	32
Tabla 8. Mínimos, máximos, promedio y total de variables (Consumo, pobladores, distancias y costo).....	33

Tabla 9. Extracto de resultados encontrados .....	36
Tabla 10. Radiación solar en el estado de Chiapas .....	45
Tabla 11. Kit presupuestado número 1.....	47
Tabla 12. Kit presupuestado número 2.....	47
Tabla 13. Kit presupuestado número 3. ....	49
Tabla 14. Resultados obtenidos.....	55
Tabla 15. Solución mixta.....	56

## Introducción

La energía eléctrica es una de las necesidades básicas más importantes para el desarrollo humano, por lo que las naciones deben procurar darles dicho bien a todos sus habitantes; sin embargo, la electrificación representa un gran gasto económico en desarrollo social, ya que consta de un tendido eléctrico que va desde una subestación hacia un transformador, y a su vez se necesita un tendido hacia los poblados correspondientes, así como postes de luz, medidores de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), estructura (aisladores de porcelana, varillas, herrajes, etc.).

En el presente trabajo se realiza una estimación de los costos para determinar la inversión necesaria, además de que se hace hincapié en la necesidad que tiene el Estado de poder subsanar tales deficiencias para poder brindar a los pobladores mayores opciones de desarrollo.

En México existen alrededor de dos millones de personas que no cuentan con acceso a la electricidad (Secretaría de Energía, 2020, p. 17), a pesar de los esfuerzos que se han hecho para proporcionar este servicio a las comunidades que carecen de este bien. La población con este dilema no ha diezmado y la problemática se ha vuelto cada vez más grande conforme a los índices demográficos de la población, debido a que muestran un incremento en el número de pobladores. El desconocimiento de las fallas; o bien, la falta de aplicación de las políticas públicas, agrava la situación, a pesar de que ha existido un deseo constante de poder dar acceso a la electrificación completa. En el sexenio pasado, el fondo de servicio universal eléctrico, surgido a partir de la reforma energética, prometió que para el año 2018, el 99% de la población estaría cubierta

(Cámara de diputados, 2016, p. 13), a pesar de esta afirmación, dicha cifra continua sin cubrirse, aún con inversiones de millones de pesos. Algunos programas sociales estatales, como en San Luis Potosí, pretendían cubrir las necesidades de la electrificación para el año 2018, firmando convenios con la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para poder entregar paneles solares a las comunidades que carecían del servicio y que habitaban en lugares aislados (SEDESORE, 2018), pero el alcance y el porcentaje de la población que se cubrió no se pudo definir; sin embargo, debió de haber sido imperativo cuantificar los logros para poder proyectar lo que hacía falta. Probablemente, muchos de los esquemas que se pretenden para el futuro no se cumplan, ya que en los años ochenta y noventa se habían establecido metas para que en el año 2000, 620 MW fueran generados por energía Geotérmica, 5,000 MW de carboeléctrica y 2500 MW de núcleo eléctrica (Secretaría de patrimonio y fomento industrial, 1980, p. 52:56), mientras que para el año 2003 se generaron 959.50 MW. Si bien, este esquema se cumplió, la generación por carbón apenas cubrió la mitad propuesta con 2,600.00 MW, y la energía nuclear en México no pasó los 1364.88 MW hasta el año 2011 (Subsecretaría de planeación y transición energética, 2014, p. 115), lo cual demostró que la planeación en cuestiones energéticas tiene brechas e impedimentos que no permiten llegar a la meta estimada.

La importancia de electrificar a las comunidades no es sólo un tema de derechos humanos, pues ésta misma ha permitido el crecimiento productivo de la nación. Esto es así, ya que cuando las entidades comenzaron a recibir electricidad empezó a surgir la industria automotriz, de acero y de otras tantas industrias.

La Secretaría de Energía (SENER) planteó, dentro de sus objetivos, para el 2020 - 2024 eliminar la pobreza, dando acceso universal al servicio eléctrico; sin embargo, ese mismo año emitió una cifra estadística donde muestra que tan sólo el 98.75 de la población contó con el servicio (SENER, 2020, p. 44). Asimismo, cabe mencionar que la electrificación de acceso universal ya había sido planteada como objetivo en el Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, específicamente en el objetivo 4.6, donde se planteaba abastecer al país con precios competitivos, con calidad y eficiencia (Gobierno de la república, 2012, p. 137). Así, entonces, el gran dilema es implementar las políticas públicas más allá del planteamiento, y lo que realmente se requiere son acciones que cambien las condiciones de las zonas rurales.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante -entonces- conocer ¿Cuánto costaría dar energía a dichas zonas rurales?, ¿por qué es imposible dar una solución contundente?, ¿el problema tiene que ver con los costos o existe alguna otra variable?, ¿cuál es el principal motivo por el que no se tiene energía en dichas zonas?, ¿existe alguna otra alternativa, más allá, de los sistemas de electrificación convencionales? Si bien, es una tarea extenuante dar una respuesta a la temática a nivel nacional, sí se pueden resolver las incógnitas a nivel estatal, trasladándonos al estado de Chiapas.

Sabemos que las tecnologías actuales pueden satisfacer las necesidades de las comunidades menos protegidas, así como la posibilidad de poder proporcionar electricidad en el momento que se tenga una alternativa de solución para suministrar energía eléctrica; todo lo cual, también, podrá dar inicio a la gestión de respuestas a las interrogantes, haciendo una serie de suposiciones dirigidas a encontrar la verdadera razón de la falta de los servicios básicos a todos los ciudadanos.

De este modo, el objetivo principal de esta tesis es cuantificar el gasto que se haría a través de la electrificación mediante la conexión al sistema eléctrico nacional de estas comunidades, y a su vez proponer una metodología que resuelva el dilema, ya sea de forma inmediata y frontal o mediante acciones periféricas que disminuyan la problemática.

Dar respuesta a estas preguntas nos ayudará a entender las razones de la falta de electrificación, saber si los alcances del gobierno pueden cubrir estas necesidades, conocer si es un tema financiero, una mala planificación o un mal abordamiento de la problemática; cualesquiera que sean las respuestas obtenidas, lo que se busca es encontrar una metodología que funcione para la resolución de problemas suministro. En este caso, otorgar energía a las personas que no tienen sin importar lo aislado del sitio donde viven o se encuentran las comunidades.

Para poder determinar los costos, se realizó un mapeo de las comunidades que carecen de este servicio en el estado de Chiapas; según la SENER (2020). -a su vez- se utilizó la plataforma proporcionada por el INEGI (2016), conocida como: “Inventario Nacional de Viviendas 2016”, en la cual una de sus herramientas nos permitió saber las distancias entre un punto a otro, por lo que ubicamos las poblaciones proporcionadas por la Secretaría de energía. Luego, se midió la distancia a la población más cercana que contara con el servicio, y se hizo una suposición de que la población tenía la infraestructura, para poderla extender a través del Sistema Eléctrico Nacional (SEN). Posteriormente, y ya con los datos de distancia recolectados, se llevó a cabo una estimación de costos por kilómetro, utilizando los datos proporcionados por la CFE en su página, en el apartado de licitaciones de la CFE (2021) con el título: Precio por obra solicitada.

Es aquí donde podemos observar los costos de construcción de redes aéreas, donde uno de los datos más importantes es el de “Costo por kilómetro de Líneas de Distribución Aérea”, dicho elemento nos ayudó a llegar a un costo aproximado, pues teniendo este dato y las distancias, se puede hacer una estimación del gasto para electrificar dichas zonas.

Los primeros dos capítulos detallan conceptos como la identidad nacional y estatal, como precedentes para conocer el contexto en el que nos situaremos, y a su vez, poder visualizar con antecedentes históricos el trabajo que se ha hecho y lo que se ha omitido, teniendo parámetros como gastos de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) anteriores o la inversión pública, que se ha hecho en el estado en cuestión (Chiapas).

En el tercer capítulo se detallan los procedimientos y los costos necesarios, y una vez obtenidos dichos datos, se expone el cuarto capítulo, donde se abordan los resultados adquiridos, utilizando tecnologías convencionales, analizando los aspectos técnicos de la investigación, así como realizando una propuesta pragmática, para el beneficio de la población. Finalmente, en el último capítulo, teniendo como base una solución que incluya tecnologías alternas, se realizan comparativas, dando una solución que pueda ser plausible.

.

## **Objetivo General**

Crear una metodología que permita conocer las posibilidades de las comunidades que carecen de servicio eléctrico en el estado de Chiapas, con el objetivo de adquirir este beneficio.

## **Objetivos Particulares**

- Localizar las comunidades que carecen de electricidad.
- Determinar los costos para electrificar dichas zonas.
- Dimensionar un sistema fotovoltaico aislado que permita obtener dicho beneficio y realizar una cotización.
- Determinar qué poblaciones pueden ser electrificadas de manera convencional y cuáles con energía solar.
- Proponer alternativas a la problemática.

El primer capítulo de esta investigación aborda el contexto nacional, así como el del estado de Chiapas; es decir, cómo se encuentra la población mexicana con relación a temas de acceso de energía eléctrica, y a su vez se hace una revisión del contexto histórico de la energía eléctrica. En el capítulo dos se hace mención a la importancia económica y social de la electricidad, teniendo referencias internacionales y nacionales, en donde se observa el desarrollo metodológico, con la finalidad de dar respuesta a parte de las preguntas realizadas (parte fundamental de este trabajo) en el capítulo 3, dando pie para poder realizar los capítulos 4 y 5, donde se desarrolla el costo de las tecnologías de suministro eléctrico,

tanto convencional (conexión al sistema eléctrico nacional) como el de paneles solares, respectivamente. En el último capítulo, se aborda el costeo de una solución mixta que convine ambos tipos de suministro.

## **Capítulo I**

### **Contexto de la Energía Eléctrica**

En este apartado se abordan temas para entender el contexto en el que se encuentra la energía eléctrica, tanto en los procesos por los que se pasó para llegar a ser considerada como un derecho humano fundamental, así como la razón por la que se considera una necesidad para el desarrollo tecnológico. A su vez, se plantea cómo está la energía eléctrica con respecto a la distribución en la población en un ambiente internacional, cómo se aborda la problemática del difícil acceso de muchas poblaciones de escasos recursos en un panorama nacional, y finalmente, en el último subcapítulo, se explora el estado de Chiapas, punto de partida, pues es el estado en el cual esta investigación toma su locación.

#### **I.I Generalidades y antecedentes históricos**

El término de electrificación hace referencia a la suministración de luz eléctrica en la nación. La electricidad ha sido esencial en la historia del mundo, ya que “cambió la organización de la ciudad. Permitió el alumbrado público y la conquista de la noche”. (Capel, Horacio, 2015). La electrificación en México empezó al final del siglo XIX con el periodo presidencial de Porfirio Díaz (1877-1911). (Castro S. Gustavo, 2002). Posteriormente, a principios del siglo XX, se le dio un impulso muy importante, promoviendo así la industria y la economía mexicana. Las primeras cuarenta lámparas eléctricas se instalaron hacia el año 1881, desde el paseo de la Reforma hasta el zócalo (Gobierno de México, 2018, p. 1), y hacia el año 1905, se instauró la primera planta

hidroeléctrica de Necaxa (Parra, Alma L., 1988, p. 143). En ese mismo año surgieron disposiciones gubernamentales que empezaban a otorgar permisos relacionados con la industria eléctrica; en 1937 Lázaro Cárdenas promulgó la ley que creó la Comisión Federal de Electricidad (CFE), en la cual se establece que la comisión tiene obligación de dirigir y organizar un sistema de distribución, transmisión y generación de electricidad, tratando de obtener un costo mínimo y el mayor rendimiento posible hacia el bien común, pero con 18.3 millones de habitantes, sólo 7 millones de habitantes contaban con energía eléctrica, lo que equivale al 38% (CFE, s/f.).

En el año 1960, el crecimiento demográfico, industrial y económico impulsó -cada vez más- la generación de electricidad, por ello la CFE comenzó proyectos propios en cuatro estados del país (Guerrero, Oaxaca, Michoacán y Sonora), con una capacidad instalada de 2,308 MW; es decir, seguía habiendo una población de 56% que no contaba con servicio de electricidad; posteriormente, a partir de ese año y con el presidente Adolfo López Mateos comprando con fondos públicos y préstamos internacionales, las empresas transnacionales, la CFE pasó de no tener participación en la generación de electricidad a tener el 54% en tan sólo un año. Entre 1970 y 1980 se llegó del 58% al 73% de cobertura de electricidad con una capacidad instalada de 17,360 MW; sin embargo, en los 80's el crecimiento se vio mermado, debido a que la asignación de recursos para el sector se redujo considerablemente (CFE, s/f.).

Cuando se alcanzó un 86% de electrificación se tenía una capacidad instalada que ascendía a 26,797 MW, y para el año 2000 se tenía electrificada una población de 94.7%, con una distribución de 614,653 km. Ulteriormente, en el año 2016 se tenía una

electrificación del 98.6% (CFE, s/f.), y en los datos más recientes, en el año 2020, según datos porcentuales de la SENER, sólo se ha avanzado a un 98.75% (SENER, 2020, p. 44).

## **I.II Desarrollo sustentable, enfoque energético-eléctrico**

La utilización de “las energías renovables es cada vez más frecuente en la vida diaria. Entre ellas, la energía solar es la más difundida: su ilimitada abundancia puede ser aprovechada a través de la tecnología para ser transformada en electricidad”. (Junghanss, Roberto, 2018, p. 2).

Con respecto al desarrollo sustentable, puede interpretarse de muchas formas, dependiendo de la disciplina que lo estudie; cada una de éstas busca un enfoque que cumpla con los requerimientos necesarios obedeciendo a lo que se requiera. Para la ingeniería, en el desarrollo de energía eléctrica se tiene que tomar en cuenta este tipo de desarrollo para conseguir que el futuro sea un lugar sostenible para todos, y se considera que el desarrollo sustentable es aquel en el que las energías fósiles no intervienen en la generación eléctrica o intervienen muy poco. (Junghanss, Roberto, 2018).

Al respecto, existe una serie de objetivos emitidos por la Organización de Naciones Unidas (ONU) referentes al Desarrollo Sostenible (ODS), donde se habla de temas importantes a nivel global, como “la reducción de la pobreza, salud, calidad educativa, igualdad de género, infraestructura, reducción de desigualdades, acción por el clima, entre otros”. (Villavicencio Peralta Xuzel A., 2020, s/p.).

En este sentido, la ingeniería puede impactar de manera muy positiva en la infraestructura, innovación y tecnologías inclusivas en el Desarrollo Sostenible (ODS); recordemos que se debe tomar en cuenta que los recursos se vuelven, cada vez más limitados y la población aumenta, pero las necesidades básicas no pueden dejarse de lado y deben garantizarse para todos los individuos. Dentro de estos objetivos emitidos por la Organización de Naciones Unidas (ONU), el número siete, relativo a “Energía asequible y no contaminante” (PNUD, 2022) es de nuestro particular interés, ya que establece que la energía debe ser accesible y no debe contaminar. La primera característica nos habla de que cualquier persona en el mundo tiene el derecho de acceder a ésta (Naciones Unidas, s/f.); sin embargo, no todos los individuos tienen acceso y aunque se han dado grandes pasos para que se cumpla este objetivo, todavía existen zonas remotas y pobres que carecen del beneficio. Por esta razón, es indispensable asegurar el acceso a los servicios de energía sostenible, ya que es esencial en la economía, empleos, seguridad y alimentación del planeta. (Naciones Unidas, 2018).

Es aquí donde al poder cumplir la segunda característica, relativa a no contaminante, se puede resguardar la primera, aunque ambas tengan un objetivo diferente; dicho de otra forma, se puede resguardar la parte de asequibilidad con energía no contaminante, pues existen sistemas aislados de paneles solares con los que es posible llegar a aquellas comunidades de difícil acceso, y con respecto al costo para las personas de escasos recursos, se conoce que este tipo de sistemas tiene una recuperación de inversión bastante factible; además de que se puede lograr un ahorro considerable, debido a que es energía renovable no sólo no contaminante sino que también se puede obtener una independencia

energética en la que ya no se requiere más inversión, para generar más energía. Únicamente se tendría que pensar en el mantenimiento, lo cual es una gran solución para dicho objetivo.

La importancia de brindar energía no contaminante a aquellas personas que carecen de ésta, radica en el desarrollo que pueden llegar a tener; así como a la premisa de que la energía puede cambiar la vida de la población, pues es un gran apoyo tanto para la agricultura, las comunicaciones, la educación y un sinnúmero de ámbitos. El interés de que sea no contaminante es porque la producción de energía representa más del 75% de la producción de gases de efecto invernadero (Mengpin Ge, et. al., 2021). A su vez, la generación a través de combustibles fósiles (debido a la escasez de estos) tendrá un fin, al ser un recurso limitado, forzando a la humanidad a buscar nuevos métodos de generación, aunque las energías renovables también tienen retos técnicos a vencer; la implementación de éstas como una manera conjunta con las energías convencionales, ayudará a realizar una mejor transición energética en búsqueda de una solución que cumpla con todas las necesidades. (Limón Portillo, 2017).

### **I.III Casos internacionales**

Actualmente, los países que cuentan con una mayor electrificación son: Uruguay, con una tasa del 99,7% de energía eléctrica (Banco de desarrollo de América Latina, 2021), sus principales retos, al igual que en México, fueron los sectores rurales, pero parte de su éxito puede deberse al territorio, ya que no abarca más allá de los 180,000 km<sup>2</sup>. Su principal estrategia para cubrir el 100% está a cargo de la oficina de planeamiento y presupuesto y su programa que consiste en brindar un número telefónico para que las personas que carecen

de este servicio sean detectadas y puedan acceder a dicha asistencia. Se estima que algunas familias esperaron más de 40 años para poder acceder al servicio, pero finalmente, se logró el objetivo. Asimismo, otra estrategia que se llevó a cabo fue el subsidio del 40% del costo de las obras (Agencia EFE, 2018).

Esto pudo concretarse, debido a que, antes de llegar a dicha tasa, se llevó a cabo un diagnóstico mediante datos de la encuesta continua de hogares (ECH), lo que proporcionó las características de las viviendas; sin embargo, aún hacía falta dispersión y distribución en cuanto a acceso a la energía; por tanto, se utilizaron estimaciones de densidad de kernel, no paramétricas para encontrar la probabilidad de contar con la energía en los hábitats rurales para cada año (González R., et. al., 2011), donde se detalló la probabilidad condicionada, dependiendo de otra serie de características (variables) como por ejemplo: región en la que se encuentra, características de la vivienda, posesión de la vivienda, asentamientos irregulares, acceso al agua, sistema de drenaje, fuentes de energía para calefacción y cocción, inclusión de programas sociales, ingreso del hogar, mujeres que habitan el hogar y tasa del empleo del hogar.

Dicho estudio se realizó con la finalidad de establecer el acceso a las poblaciones rurales, y también sirvió para medir el acceso sostenible. De esa manera, se pudo identificar qué hogares podían contar con servicio de luz por sí mismos o si era necesaria una política focalizada.

## I.IV Entorno nacional

Nuestro país cuenta con el sistema eléctrico nacional que integra, a su vez, cuatro sistemas eléctricos aislados (el sistema interconectado nacional, el sistema eléctrico Caja California, el sistema eléctrico Baja California Sur y el sistema eléctrico Mulegé), con diez regiones de control, de las cuales siete son del Sistema Interconectado Nacional (SIN), desarrollada –principalmente- por la Comisión Nacional de Electricidad (CFE, 2019). Ver la figura 1.

Figura 1. Regiones de control

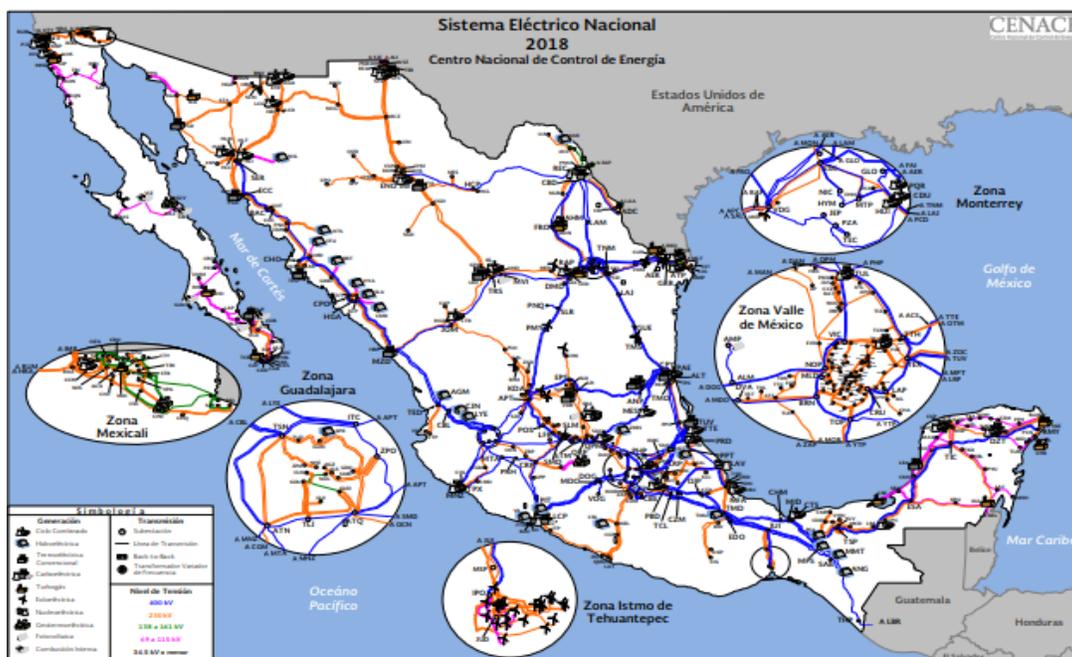


Fuente: SENER (2018). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional.

<https://bit.ly/3rY39V4>

Para el año 2018, la red contaba con una longitud de, aproximadamente, 108,018 km con tensiones de 400 kV, 230kV, y la última de entre 161kV y 69 kV, que es la que abarca la mayor parte de la red, con un porcentaje del 49.5% (SENER, 2018). Ver la figura 2.

Figura 2. Sistema Eléctrico Nacional



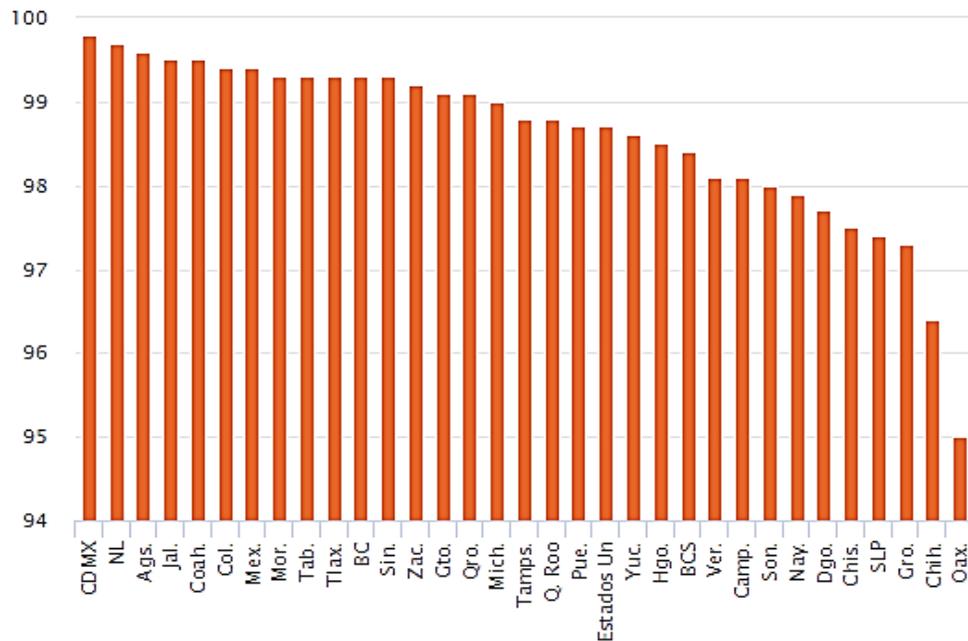
Fuente: CENACE (2018) Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista. Gobierno de México. <https://bit.ly/3APGSv0>

Dicha red, solamente proporciona el 98.5% de energía en México. Se trataba de subsanar el problema mediante el programa de Fondo de Servicio Universal Eléctrico (FSUE), a través de la ampliación de la red eléctrica o, en su defecto, si la viabilidad de la extensión era imposible, entonces encontrar la mejor forma de generación eléctrica en el año 2018, misma que pretendía cubrir apenas a 520 mil habitantes, con extensión de red (73.6%), y paneles fotovoltaicos (26.4%).

El Consejo Nacional de Población (CONAPO) (2011), determina que los estados con mayor número de problemas de aislamiento son: Chiapas, Oaxaca y Veracruz. Asimismo, el INEGI (2015) también expone el problema en la Encuesta Intercensal de 2015, en la cual

se puede observar que los que menor acceso tienen son poblaciones que la CONAPO considera como zonas marginadas. Ver la Gráfica 1.

Gráfica 1. Viviendas de cada cien que cuentan con electricidad



Fuente: Vivienda, INEGI encuesta intercensal 2015. Gobierno de México.

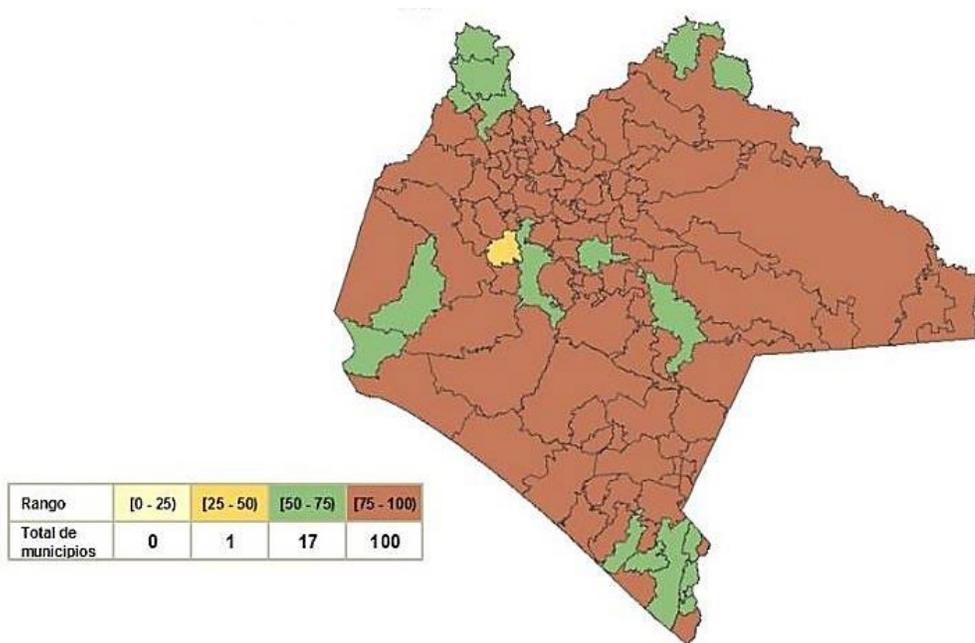
<https://bit.ly/2XMj1O1>

Siendo sólo focalizadas las viviendas, también se reportaron -en ese mismo año- que más de 42 mil escuelas públicas no contaban con acceso a la energía; esto se dio a conocer en el censo de escuelas, maestros y alumnos de la educación básica, teniendo -también- los principales problemas los estados de Oaxaca y Chiapas.

## I.V El estado de Chiapas

El estado de Chiapas es una de las entidades con mayor pobreza de la República Mexicana. Las comunidades se encuentran aisladas, debido a la falta de acceso a servicios públicos, todo lo cual ha favorecido que la entidad se halle estancada, evitando su pleno desarrollo. Según la CONEVAL (2010), la pobreza es uno de los factores que más destacan en la zona de Chiapas, ya que la mayoría de los municipios tiene un porcentaje del 90% al 100% de pobreza y pobreza extrema.

Figura 3. Porcentaje de población en situación de pobreza, 2010



Fuente: CONEVAL (2010). Pobreza municipal 2010-Chiapas <https://bit.ly/3y13oT2>

De acuerdo con SENER (2019, p. 95) “Chiapas es el segundo estado que más carece de acceso a la energía eléctrica, reportado en el informe pormenorizado y las tendencias de la

industria eléctrica nacional, teniendo de una población total de 5,843,689 a 196,552 pobladores sin electricidad, lo que equivale a un 3,36%”.

Cabe mencionar que, para la realización de este trabajo, se utilizó la información de uso libre publicada por SENER (2020) con respecto a zonas no electrificadas, en donde no sólo se recopilan los datos del estado de Chiapas sino de toda la nación. De igual modo, se separaron los demás estados y se recopiló la información viable, se cuantificó que existe, de forma contable, un total de 51,968 personas sin electricidad. Dada la naturaleza del aislamiento y pobreza del estado, es posible que el número de habitantes sea mayor. También se puede inferir este hecho, ya que ambos documentos publicados por la misma entidad reflejan diferentes cifras; mientras que el informe pormenorizado nos muestra datos estadísticos sobre las zonas no electrificadas, cuál es la región y el número de habitantes. Dichos datos son puntuales, cuantificables y manejables con los esquemas de este trabajo.

La entidad en cuestión se encuentra sumida en una pobreza muy fuerte, ya que en los últimos 28 años su PIB no ha tenido mejoras (1.6%). En este sentido, es importante conocer cuánto es el costo de proporcionar electricidad a las comunidades más necesitadas de esta zona, pues la energía eléctrica (como hemos visto en líneas pasadas) no sólo es un beneficio sino –también- un incentivo para reactivar la economía, ya que la industria detiene su crecimiento por la falta de electricidad, pues no existen puntos de desarrollo, nuevas fábricas o parques; en particular en el INEGI (2015) reportó un decrecimiento del 10.8% en el estado.

## **Capítulo II**

### **El Sentido Financiero y la Importancia de la Energía Eléctrica Nacional**

Este capítulo tiene la importancia de dar a conocer los alcances que puede tener una empresa como la CFE, la cual tiene la tarea de gestionar, regular y suministrar el servicio de energía eléctrica nacional. A su vez, también se plantean las inversiones que se han realizado en este rubro, lo cual nos permite tener un panorama de la realidad y el desarrollo en la electrificación. Por otra parte, se muestra la importancia que este servicio tiene en el desarrollo económico de las personas que lo carecen.

#### **II.I La inversión pública y los gastos en electrificación**

Según Velázquez M. Jorge Iván. (2019), México tiene una calificación de 72.9 y se encuentra en la posición número 49 de 140 países. Dentro de este índice, México ocupa el lugar 85 en pérdidas de transmisión y distribución de energía eléctrica”. A pesar de este panorama, la CFE gastó en electrificación, entre los años 2018 y 2019, un total de 1,172 millones de pesos, haciendo una cobertura de 1,132 localidades y un total de 151,372 habitantes. Lamentablemente, esto representa tan sólo 0.20 puntos porcentuales en el entorno nacional (CFE, 2019, p. 79).

Para el caso del estado de Chiapas, en el mismo año hubo un total de 48 obras, las cuales representaron 88 millones de pesos en inversión y 8 ,649 habitantes fueron beneficiados,

según el mismo reporte (CFE, 2019, p. 80), aunque aún falta dar acceso a este bien a más personas.

Como se observa, la CFE cuenta con el respaldo del aparato de estado para realizar inversiones en cuanto a electrificación, y se puede visualizar que se tiene una gran capacidad para realizar proyectos. Por tanto, la viabilidad de los proyectos dependerá en entender si los costos que se puedan llegar a proyectar se encuentran dentro de la cantidad de inversión, y de esa manera, determinar o poder intuir cuáles son los factores que evitan que el desarrollo en electrificación se lleve a cabo, los retos económicos a vencer o la manera de realizar financiamientos asequibles y acordes a los objetivos desarrollados por la organización de las naciones unidas. (Naciones Unidas, s/f.).

## **II.II La importancia de la electrificación**

Existen varios países que realizan estudios y llevan a cabo iniciativas sobre los verdaderos impactos que significa proporcionar energía eléctrica a las comunidades menos favorecidas; en particular Etiopía y El Salvador. En Etiopía se lleva trabajando desde el año 2017 para poder proporcionar electricidad a la mayor parte de personas, ejemplo de esto es el plan nacional de crecimiento (Growth and Transformation Plan 2), donde se tiene la intención de “construir 13,7 GW de nueva capacidad renovable, proveniente de fuentes renovables como la hidroeléctrica (10 GW), la geotérmica (0,6 GW), la eólica (0,9 GW), la solar (0,2 GW), y la biomasa (0,7 GW) para diversificar de este modo el mix de generación energética”.(En el Green Power, 2018, s/p.); mientras que en el caso de El Salvador, en el año 2018, el 97 % de

la población ya contaba con energía eléctrica a partir de fuentes renovables. (Banco mundial, 2022). Como se observa, estas naciones realizan análisis sofisticados para conocer dicho beneficio, así como iniciativas, debido a que su importancia no sólo radica en el hecho de obtener luz sino también en el reemplazo de otras fuentes de energía, como lo son: la leña o el carbón, que son utilizados para iluminar, calentar y cocinar. El reemplazo de este tipo de fuentes de energía ayuda no sólo a la conservación del ambiente sino a la salud de los pobladores, debido a que se conoce que existe un riesgo importante en las personas que utilizan la leña, pues puede ser un riesgo que aumenta la probabilidad de contraer cáncer. Análogo a esto, se estima que las personas que utilizan este combustible, generalmente, son personas que viven en zonas rurales o en condición de aislamiento, donde el acceso a salud pública se ve complicado por las distancias o la inexistencia de centros de salud.

Es importante mencionar que los efectos de tener electricidad no se verán reflejados inmediatamente, debido a que los pobladores a los que se pretende dar energía no cuentan con el poder adquisitivo para obtener aparatos eléctricos; es decir, es un beneficio que debe contemplarse a largo plazo; por tanto, es aquí donde radica la importancia de la pronta electrificación, pues a mayor tiempo de aplazamiento de este tipo de proyectos, se acrecienta la brecha social de desigualdad, lo cual trae como consecuencia que las zonas rurales se estanquen en un nivel socioeconómico del cual –difícilmente- podrán salir por sus propios medios.

Visto desde esta perspectiva, el acceso a la electrificación es un primer impulso para generar un cambio socioeconómico importante en los lugares en donde el simple hecho de

alimentarse representa un reto; sin embargo debe entenderse como un impulso complementario, ya que para realizar un cambio efectivo, es necesario que todos los beneficios que da la electricidad se presenten en conjunto con el plan de electrificación. Un ejemplo es la telecomunicación, si se tienen computadoras o medios de comunicación sin energía eléctrica no habrá diferencia alguna en las comunidades, pero si la electrificación es proporcionada junto con un plan de desarrollo adecuado que aminore, observe y contemple las necesidades de las comunidades, los pobladores podrán disponer de electricidad y medios para comunicarse y reducir su aislamiento. De este modo, el acceso a la información y a la educación podría reducir la brecha de desigualdad en estas zonas marginadas.

## Capítulo III

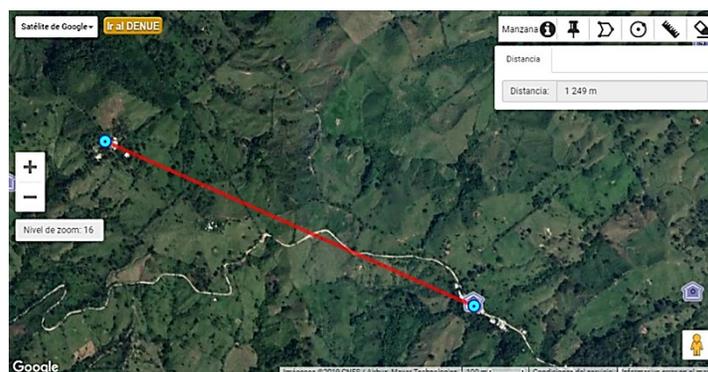
### Desarrollo de Metodología

En este capítulo se plantea la metodología para rastrear las poblaciones de interés, así como la información de cuáles fueron los costos y materiales que se utilizaron para generar el precio por distancia del tendido eléctrico, conocido en este documento como: “conexión convencional”, estableciendo, así, una base para el desarrollo de los siguientes capítulos.

#### III.I Costos de una instalación-metodología

Para realizar la cotización de los costos, primero se localizó la comunidad que no cuenta con el servicio de electrificación. Se utilizó la aplicación que proporciona el INEGI (2016). Posteriormente, se midió la distancia que existe entre la población sin electricidad y la que sí cuenta con electricidad. En la siguiente figura 4 se puede observar el municipio de Amatan, con una pequeña población de diez personas y una distancia de 1.249 Km.

Figura 4. Inventario nacional de viviendas 2016, Amatan.



Fuente: INEGI (2016). Inventario Nacional de Viviendas 2016,  
<https://www.inegi.org.mx/app/mapa/INV/Default.aspx?ll=18.732035,-99.06368499999996&z=10>

Para poder concretar el objetivo, primero se determinaron los materiales y el costo de cada uno de ellos, teniendo en cuenta los cuadros de carga. Ver tabla 1.

Tabla 1. Cuadro de carga

Subestación particular tipo poste												
Potencia aparente	Factor de Potencia	Potencia Activa	Voltaje	I Nom	ITM	F	N	T	Material	Canalización	Distancia	Caída de tensión
75 kVa	0.9	67.5kW	240/120 V	98.4 A	3x100A	1	1	1	ACSR	Tubería 41mm	1.249km	0.80%

Fuente: elaboración propia.

Para determinar los precios se tomaron como base los costos estipulados por la CFE por cada kilómetro, por lo que por cada tramo de kilómetro incompleto se estimó un porcentual del precio por kilómetro, calculando el precio total por el porcentaje de kilometro faltante; es decir, según las especificaciones se tomaron las características de la tabla 2 de los costos que se presenta en seguida.

Tabla 2. Costo por kilómetro de líneas de distribución para redes aéreas.

Poste de madera - área rural

Características	Materiales y equipo de instalación permanente	Mano de obra civil y electro-mecánica	Diseño del proyecto	Supervisión	COSTO TOTAL
1C-1F-2H-13 kV-1/0-AWG-ACSR-PM (RURAL)	\$172,484	\$91,339	\$2,746	\$2,663	\$269,231

Fuente: CFE (2021). Industria – Aportaciones.

<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Aportaciones/>

Asimismo, se muestran, en la tabla 3, los costos de instalación de líneas de baja tensión.

Tabla 3. Costo de instalación de líneas aéreas de baja tensión

Características	Materiales y equipo de instalación permanente	Mano de obra civil y electro-mecánica	Diseño del proyecto	Supervisión	COSTO TOTAL
120V-1C-50MCL-0.30Km-1F-2H-ACSR 1/0-2-PM	\$67,855	\$21,238	\$2,654	\$1,029	\$92,777

Fuente: CFE (2021). Industria – Aportaciones.

<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Aportaciones/>

En la tabla 4 se muestra el costo de instalación de transformadores monofásicos de retorno por tierra para redes aéreas

Tabla 4. Costo de instalación de transformadores monofásicos de retorno por tierra para redes aéreas

Características	Materiales y equipo de instalación permanente	Mano de obra civil y electro-mecánica	Diseño del proyecto	Pruebas para puesta en operación	Conexión	Supervisión	TOTAL
1T-1F-75 kVA-13200YT/7620-240/120 V	\$84,011	\$3,035	\$754	\$663	\$437	\$736	\$89,637

Fuente: CFE (2021). Industria – Aportaciones.

<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Aportaciones/>

Por criterio, se utilizó un transformador de 75 kVa, debido a que se desconoce si se necesitará otro transformador para la distribución propuesta. Se realizó y proyectó el escenario más crítico en donde se propone el transformador más caro y de mayor potencia.

Tabla 5. Costo de seccionamiento automático en redes de distribución

Características	Materiales y equipo de instalación permanente	Mano de obra civil y electro-mecánica	Diseño del proyecto	Supervisión	Pruebas para puesta en operación	Conexión	TOTAL
Automatismo con interruptor en MT 13 KV	\$390,849	\$23,149	\$3,531	\$3,256	\$2,049	\$8,368	\$431,202

Fuente: CFE (2021). Industria – Aportaciones.

<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Aportaciones/>

Tabla 6. Costo de estructuras de media tensión

Características	Materiales y equipo de instalación permanente	Mano de obra civil y electro-mecánica	Diseño del proyecto	Supervisión	COSTO TOTAL
Estructura TS3N 13 kV	\$2,451	\$914	\$111	\$60	\$3,536

Fuente: CFE (2021). Industria – Aportaciones.

<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Aportaciones/>

Las tablas anteriores son muy significativas, ya que sientan las bases de cómo se realizaron las aproximaciones a los precios reales de una instalación rural. De igual modo, permiten visualizar en dónde se elevan los precios; es decir, cuáles son los componentes de la instalación que representan un mayor costo a medida que las distancias incrementan. Se conoce que existen componentes como el transformador o el interruptor de media tensión donde su gasto es de una sola pieza por comunidad. La decisión de proyectar el costo sobre el

cable de media tensión es debido a que éste representa el gasto más grande y el que tiene su mayor variación conforme a la distancia de las poblaciones.

## Capítulo IV

### Resultados Conexión Convencional

De acuerdo a un supuesto de cuadro de carga de consumo para la energía eléctrica en cada comunidad, el siguiente capítulo está destinado a presentar los resultados para la conexión convencional, obtenidos a través de la manipulación de datos de poblaciones, costos, distancias y número de pobladores, proporcionados por la SENER (2019). A su vez, se presentan –gráficamente- los comportamientos de los costos conforme a las diferentes variables que se manipularon. Las gráficas planteadas nos proporcionan un panorama bastante completo, mientras que los esquemas financieros pueden ser implementados, debido a los contextos y situaciones específicas que tienen estas poblaciones.

#### IV.I Costos y poblaciones totales

En este apartado se da a conocer la población atendida y el costo de la instalación eléctrica por cableado. En primera instancia, se tiene que determinar el consumo total de los hogares para establecer un panorama general con respecto al tema. El INEGI (2016) determina que el tamaño promedio de los hogares en el estado de Chiapas es de 4.2, entonces se estipula que por cada hogar se tiene una carga de consumo promedio. Ver tabla 7.

Tabla 7. Consumo de casa promedio

Cantidad	Equipo	Potencia (W)	Tiempo de uso	watts hora
1	Refrigerador	250	8h/día	2,000
1	Televisor	50	6h/día	300

<b>8</b>	Alumbrado (LED)	15	13h/día	1,560
<b>1</b>	Lavadora	280	4h/2 veces por semana	160
<b>Total</b>		700		4.020 Kwh

Fuente: Elaboración propia.

El costo total de proveer de energía eléctrica al estado de Chiapas mediante la conexión al sistema eléctrico nacional, según los datos que se recabaron es de \$971, 388,225.32. En la tabla 8 se muestran los costos promedios, así como costo mínimo y máximo por población

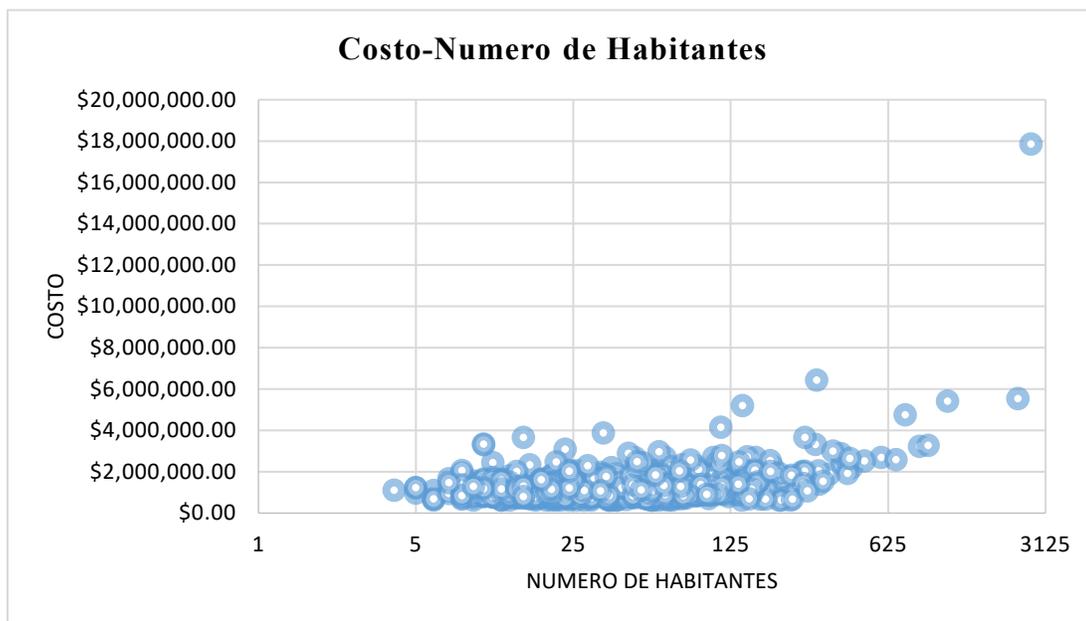
Tabla 8. Mínimos, máximos, promedio y total de variables  
(Consumo, pobladores, distancias y costo)

	<b>Consumo kW/h</b>	<b>Pobladores</b>	<b>Distancia</b>	<b>Costo</b>
Min.	3.83	4	0	\$617,152.00
Max	2,576.3	2692	58.354	\$17,851,686.77
Promedio	64.60	67.49090909	2.297893506	\$1,261,543.15
Total	49,740.80	51,968	1769.378	\$971,388,225.32

Fuente: Elaboración propia.

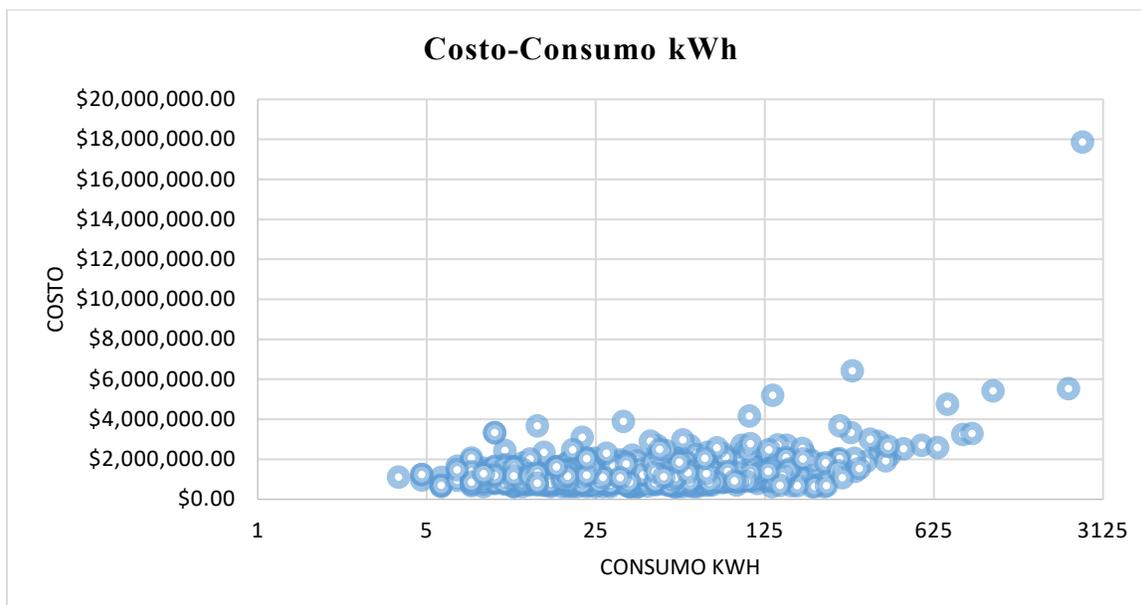
En la gráfica 2 se puede observar el costo contra el número de habitantes, lo cual nos da una perspectiva de que existe cierta tendencia debajo de los 4 millones con poblaciones de alrededor de no menos de 500 personas; también se puede observar que existen una serie de casos aislados en los que se rebasa el límite, observado en las tendencias que se tiene como mayor población 2,692 habitantes en una comunidad, y como mayor gasto un aproximado de \$16 millones.

Gráfica 2. Costo de instalación convencional contra número de habitantes



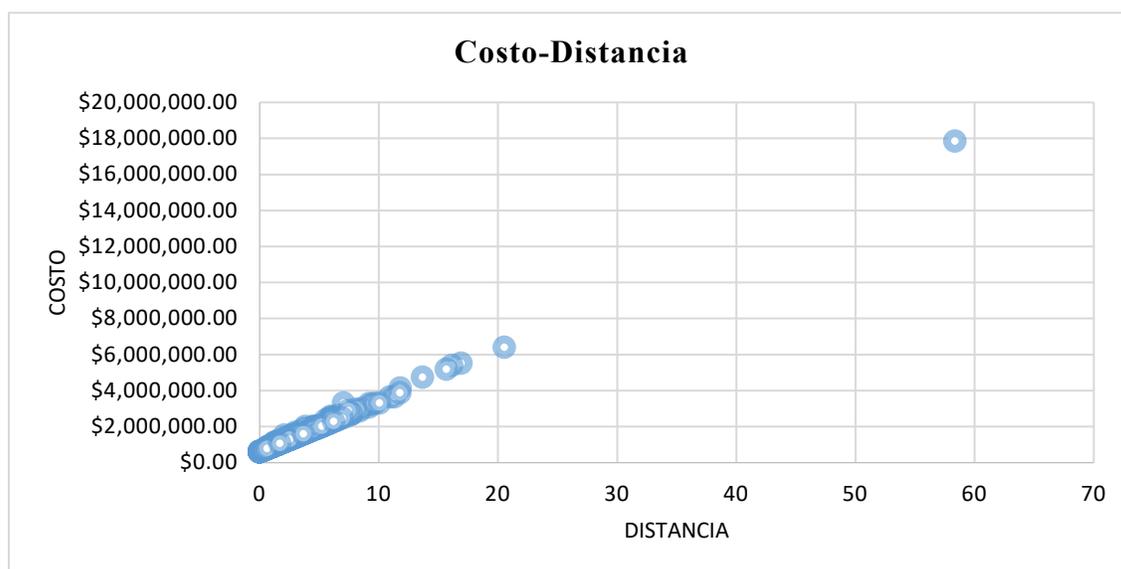
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 3. Costo de instalación convencional contra consumo kWh



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 4. Costo de instalación convencional contra distancia entre poblaciones.



Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede ver en estas gráficas, no existe una variación en cuanto a costo-población o en cuanto a costo-consumo, pero la gráfica sí se vuelve exponencial con respecto a las distancias que se recorren para la conexión.

En la tabla de Excel<sup>1</sup>, “Resultados de electrificación del estado de Chiapas”, la cual se puede consultar a través de esta liga: <https://bit.ly/3nA5qnJ>, se contabilizaron los hogares que pueden ser cubiertos con energía eléctrica, además de cuánto consumen esos hogares (entendiendo como un hogar 4.2 pobladores), y cuál sería el costo por persona de tener electricidad, esto se realiza con el fin de tener un panorama lo más amplio posible, teniendo como ejemplo la tabla 9.

<sup>1</sup> No se agrega la tabla “Resultados de electrificación del estado de Chiapas”, ya que es muy extensa.

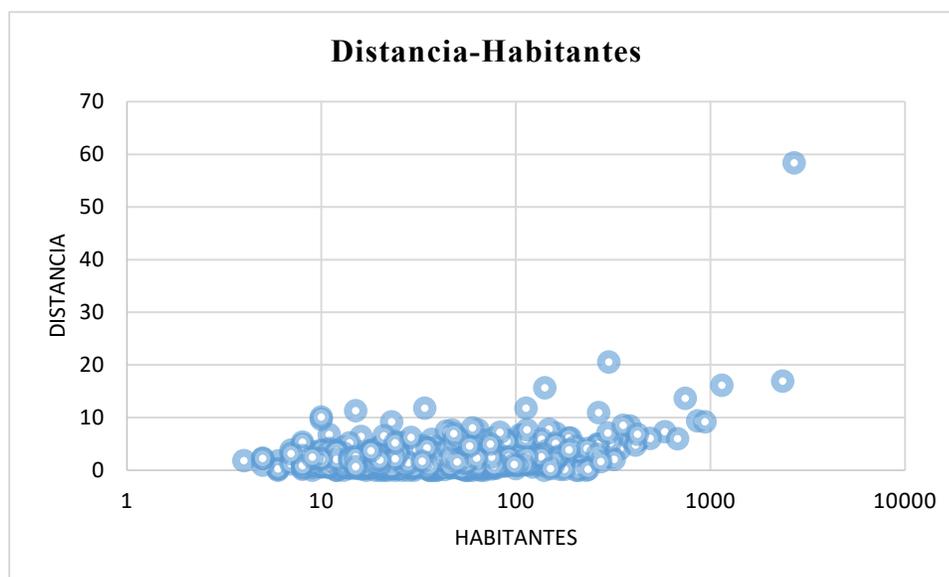
Tabla 9. Extracto de resultados encontrados

Pobladores	Distancia (km)	No. De comunidades	Costo Transformador	Costo de media tensión	Costos restantes	Costo total	Costo por persona	Hogares promedio	Consumo (kWh)
10	1.249	1	\$89,637.00	\$269,231.00	\$617,152.00	\$953,421.52	\$95,342.15	2.3809523	9.57
343	4.043	3	\$268,911.00	\$269,231.00	\$617,152.00	\$1,705,652.93	\$4,972.75	81.6666666	328.3
259	4.423	3	\$268,911.00	\$269,231.00	\$617,152.00	\$1,807,960.71	\$6,980.54	61.6666666	247.9
309	2.547	2	\$179,274.00	\$269,231.00	\$617,152.00	\$1,302,883.36	\$4,216.45	73.571428	295.75
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Fuente: Elaboración propia

De igual modo, se realizó una gráfica para conocer el comportamiento del número de pobladores con respecto a las distancias, mismo que se muestra en la gráfica 5.

Gráfica 5. Distancias contra número de habitantes

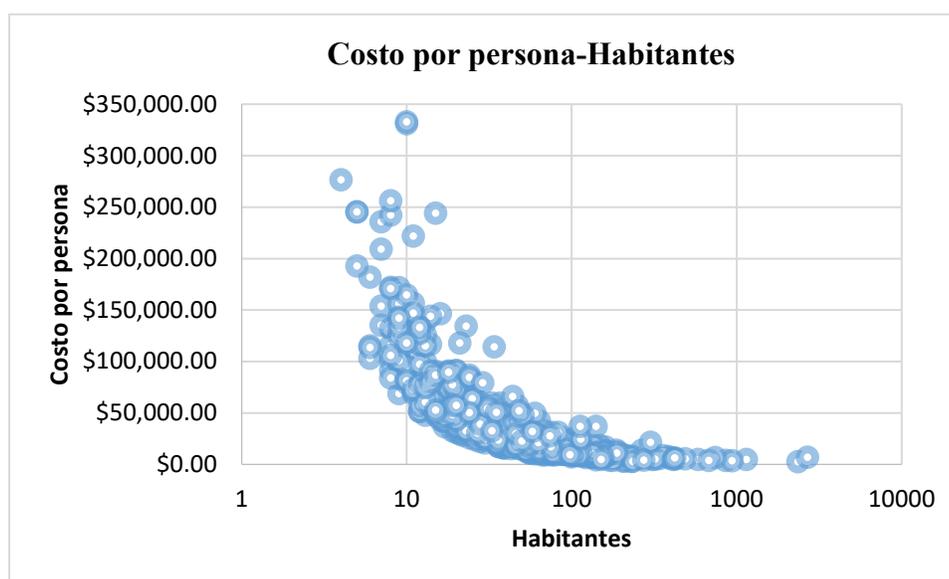


Fuente: Elaboración Propia.

Se puede observar que, en la gráfica 5, la mayoría de poblaciones se encuentran en un nivel menor a 500 personas, en un rango de 10 km o menos, lo cual indica que se tienen bastantes poblaciones en áreas relativamente cercanas.

También se realizó una gráfica de costo por persona contra el número de habitantes, lo cual mostró que el costo de instalación varía proporcionalmente, según la distancia que necesite la población.

Gráfica 6. Costo por persona contra el número de habitantes.



Fuente: Elaboración Propia.

De acuerdo con los datos obtenidos en las gráficas anteriores, se clasificaron las poblaciones para determinar cuáles pueden ser aptas para realizar una instalación convencional, obteniendo -como primeros datos- que existe una gran aglomeración de poblaciones que se encuentran a 10 kilómetros de distancia o menos de un tendido eléctrico que facilita su conexión, con habitantes menores a 500, consumos de menos de 400 kWh y un costo menor de 4 millones de pesos.

## **Capítulo V**

### **Resultados Conexión Sistema Aislado**

Con el objetivo de encontrar una alternativa a la conexión convencional, en donde los precios de conexión por población son elevadísimos, se manipularon los mismos datos obtenidos por el mapeo de comunidades y distancias. En este caso, se tomó como variable preponderante el número de poblaciones o de viviendas por población, para realizar un esquema de sistema aislado, buscando -a su vez- la mejor viabilidad económica en beneficio de las comunidades. Así entonces, en este capítulo, se presentan los resultados de dicho estudio; a su vez, se muestran los costos obtenidos de distintos proveedores y una serie de comparativas gráficas que nos muestran el comportamiento de los costos de instalación.

#### **V.I Alternativas Costo-Energía solar Fotovoltaica**

Para la alternativa de instalación se consideró la energía solar fotovoltaica, ya que de acuerdo con Castañeda Jorge, et. al., (2019, p. 3) es una excelente opción para “la reducción en el costo de las inversiones para generar electricidad”. Esta tecnología permite convertir la irradiación solar en energía eléctrica, aunque tiene una serie de inconvenientes como lo es la intermitencia, la cual hace que este tipo de energía no se encuentre disponible todo el tiempo. Esta desventaja se puede compensar mediante la implementación de baterías que almacenen la energía y puedan ser utilizada cuando se requieran.

En este punto, es importante definir la irradiación solar, misma que se entiende como una onda electromagnética generada por el espectro de luz que emite el sol. (GOV.CO, 2020). Este fenómeno puede ser aprovechado en las dos formas en que se presenta: directa y difusa.

En este caso particular, y para poder aprovechar esta energía que se genera por nuestra estrella, es necesario entender lo que significa el efecto fotovoltaico. Así, se entiende que la energía fotovoltaica se consigue mediante la exposición de celdas o células solares a las ondas electromagnéticas generadas por el espectro de luz que emite el sol. (Díaz C. Tomás y Carmona R. Guadalupe, 2010). Es, entonces, que la radiación solar interactúa con los materiales semiconductores que contiene una célula solar; este elemento es fundamental en las instalaciones fotovoltaicas. (Barberá S. Daniel, 2016). Estos materiales se clasifican en dos tipos: N y P, los fotones absorbidos se dirigen a la unión N, que es la que recibe la radiación solar y los huecos a la P, la cual no recibe luz. Esta polaridad (positiva y negativa) genera un campo eléctrico, y a su vez la corriente eléctrica.

Se considera que un panel solar es el conjunto de células solares montadas en una estructura y conectadas eléctricamente (Junghanss, Roberto, 2018); a su vez, una instalación solar fotovoltaica puede estar conformada por un panel solar o varios paneles solares; sin embargo, existen otros elementos a considerar en la instalación como el regulador de carga, el cual asegura que la tensión a la salida del panel sea la correcta, ya sea para su consumo o para su almacenaje. Para el último término, es necesaria la batería, la cual se encarga de almacenar la energía eléctrica. De este modo, cuando existen periodos sin luz solar, la batería se encarga de proporcionar la electricidad necesaria para el consumo. El inversor es otro elemento

fundamental, el panel solar nos proporcionara energía eléctrica en corriente continua, dado que la mayoría de nuestros aparatos son alimentados con corriente alterna, este elemento nos ayuda a que nuestra energía sea consumida.

Conectadas a la red o de forma aislada, las instalaciones eléctricas proporcionan una gran solución y una enorme versatilidad al problema de suministro eléctrico; no sólo proporcionando energía eléctrica, sino que abren paso a las telecomunicaciones en zonas aisladas, en las cuales la energía eléctrica es fundamental para la comunicación, otra aplicación que puede ser observada es en el bombeo de agua para granjas o sembradíos.

Para verificar si es viable, se debe conocer el entorno nacional de las variables que pueden decantarnos o no por esta tecnología. En primera instancia, tomamos el factor económico, teniendo en cuenta los bajos precios de las instalaciones fotovoltaicas que se han ido generando, debido a la demanda de esta tecnología, según Bellini Emiliano (2020), en PV infolink, empresa taiwanesa de estudios de mercado, señala que la demanda de paneles fotovoltaicos crecerá un 15% para 2021. Es esta demanda la que genera grandes beneficios, ya que impulsa a las empresas a reducir sus costos porque generan cadenas de producción cada vez más eficientes. Asimismo, se impulsa la investigación con el objetivo de generar paneles solares cada vez más eficientes. De tal suerte, se puede ver que las tecnologías fotovoltaicas son una gran opción para poder suministrar energía eléctrica, en cuanto al tema económico y el comportamiento de costos que se muestra en el presente estudio (que es variable, dependiendo de la distancia que se encuentra con otra población) para beneficiar a las comunidades aisladas.

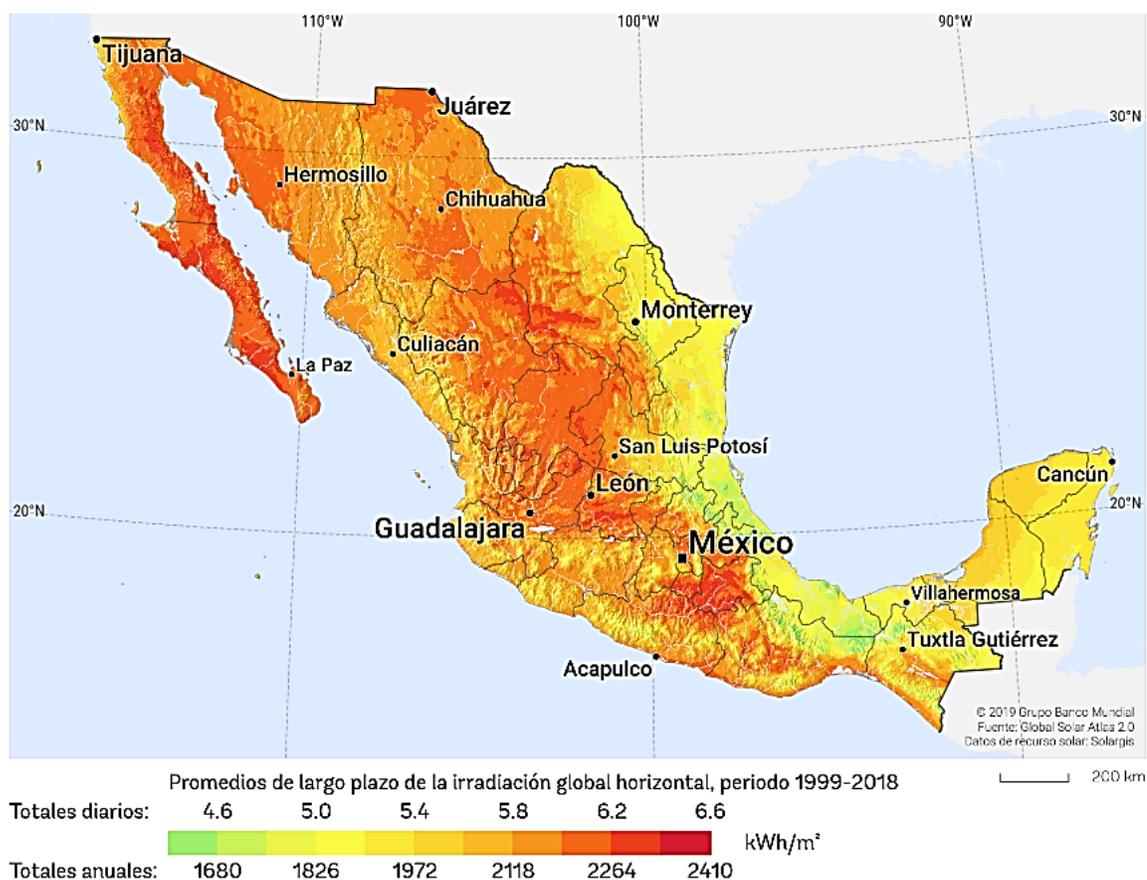
Otro de los factores de gran relevancia es la ventaja que tiene México en cuanto a irradiación solar, podemos ver tanto en la figura 5, Potencial fotovoltaico como en la figura 6, concerniente a Irradiación solar, que nuestro país cuenta con un gran potencial, y que el recurso solar es bastante amplio en todo el territorio nacional, lo que proporciona un gran incentivo para poder utilizar este tipo de tecnologías.

Figura 5. Potencial eléctrico fotovoltaico 2019, México



Fuente: Global solar atlas (2022). México. <https://globalsolaratlas.info/download/mexico>

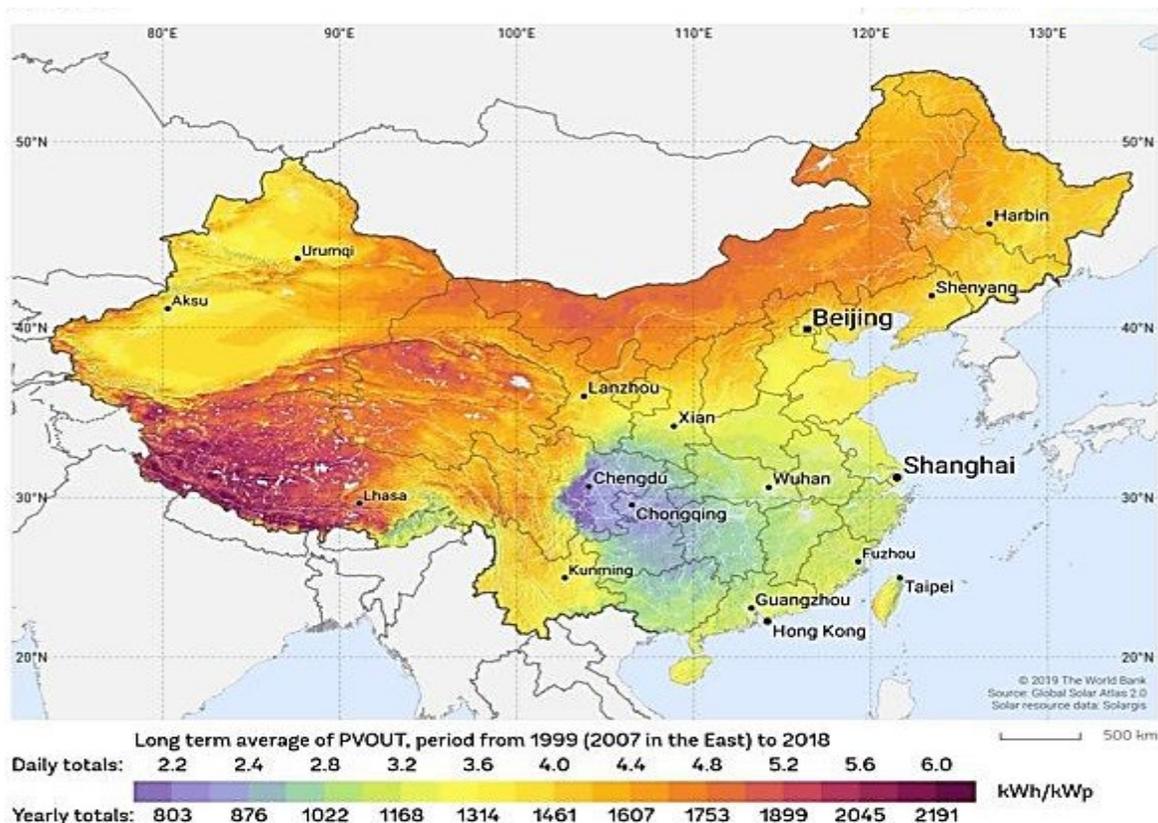
Figura 6. Irradiación global horizontal 2019, México.



Fuente: Global solar atlas (2022). México. <https://globalsolaratlas.info/download/mexico>

En comparación con otros países que tienen las tecnologías fotovoltaicas como punta de lanza para la transición energética como lo son Alemania y China, esta última nación es la que lidera el mundo con mayor capacidad fotovoltaica. (Global solar atlas, 2022). Ver la figura 7.

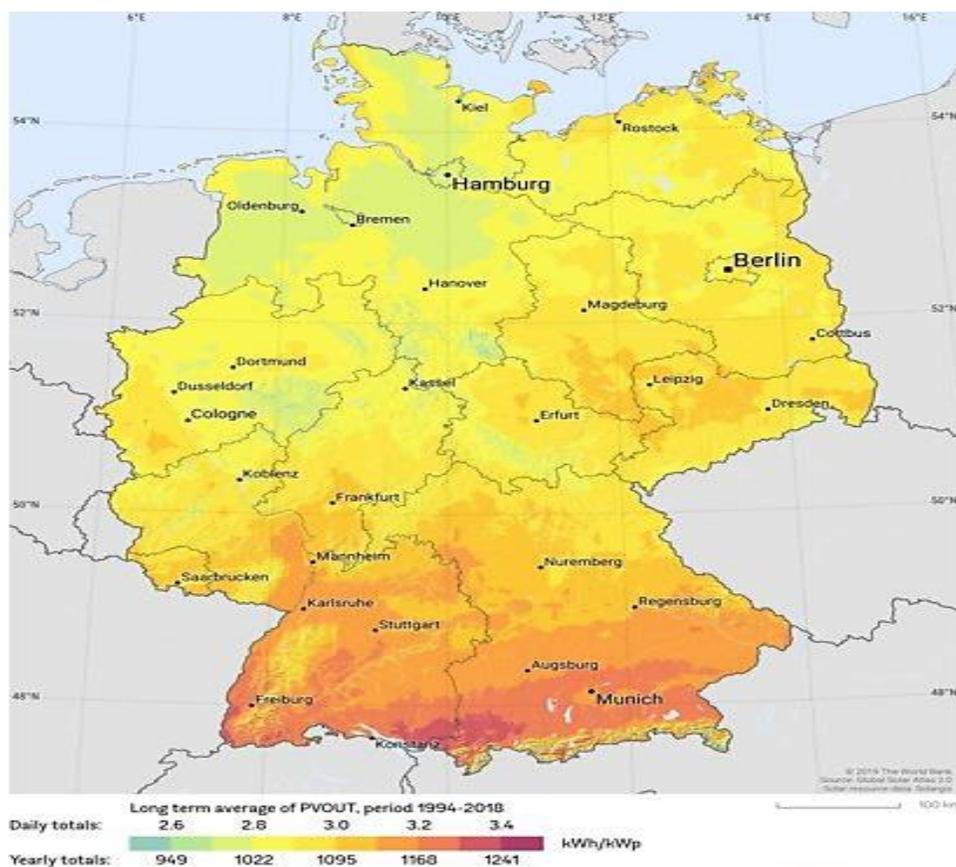
Figura 7. Potencial eléctrico Fotovoltaico 2019, China.



Fuente: Global solar atlas (2022). China <https://globalsolaratlas.info/download/china>

Al hacer un comparativo entre el potencial fotovoltaico entre China y México, nos damos cuenta de que son bastante parecidos; sin embargo, es importante recalcar que México cuenta con 1.2 veces mayor irradiación solar que el país asiático aunque se estima que en el año 2017 se generó 0.1% energía solar en comparación con la misma entidad y en comparación con Alemania superó la generación de México en 44.2%, teniendo como grandes diferencias que nuestro país lo supera en tamaño 5.5 veces, y en radiación es 5 veces superior, como se observa en la figura 8.

Figura 8. Potencial eléctrico fotovoltaico 2019, Alemania.



Fuente: Global solar atlas (2022). Germany <https://globalsolaratlas.info/download/germany>

Por tanto, se puede concluir que utilizar la tecnología fotovoltaica en México es una gran oportunidad y opción para resolver el problema de energía eléctrica suscitado en las localidades más desprotegidas y con menor acceso de comunicación, debido a las distancias y al territorio que les provoca aislamiento.

## V.II Determinación de alternativa-Costos y requerimientos

Los kwh del estado de Chiapas se determinaron conforme a la radiación promedio mensual, utilizando los datos de algunos municipios (Berriozabal, Tonalá, Chicomusuelo, Venustiano Carranza, Ya jalón). Estos datos se obtuvieron a través de la página de la NASA (2020), teniendo un promedio total para el estado de Chiapas de alrededor de 5.61. Ver la tabla 10.

Tabla 10. Radiación solar en el estado de Chiapas

Radiación Solar en el estado de Chiapas						
	Berizoabal	Tonalá	Chicomuselo	Venustiano Carranza	Ya jalón	Total
Enero	4.52	5.34	4.97	4.54	3.89	
Febrero	5.63	5.95	5.8	5.73	5.35	
Marzo	5.87	6.5	6.06	5.92	5.27	
Abril	6.47	6.61	6.35	6.36	6.15	
Mayo	6.24	5.75	5.58	6.11	6.61	
Junio	6.21	6.06	5.66	6.07	6.17	
Julio	6.47	6.33	6.01	6.28	6.46	
Agosto	6.5	6.31	6.24	6.35	6.59	
Septiembre	5.58	5.57	5.14	5.5	5.7	
Octubre	4.91	5.21	4.62	4.74	4.7	
Noviembre	4.6	5.45	5.13	4.59	4.24	
Diciembre	4.54	5.17	4.93	4.62	4.12	
Mínimo	4.52	5.17	4.62	4.54	3.89	
Máximo	6.5	6.61	6.35	6.36	6.61	
Promedio	5.63	5.85	5.54	5.57	5.44	5.606

Fuente: NASA (2020). NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources

<https://power.larc.nasa.gov/>

De acuerdo con la radiación solar y un supuesto de consumo, se puede calcular el número de paneles para realizar un presupuesto en el que se pueda ponderar si la alternativa solar es

viable. De igual forma, se supondrá una potencia de paneles promedio de 250 W., para obtener los resultados pertinentes, y se calculó cuántos paneles solares se necesitan para el proyecto por casa, utilizando la siguiente fórmula:

$$\frac{E \times 1,3}{Hsp \times wp} = N^{\circ} \text{ Paneles (1)}$$

E = Consumo Diario = 4.020 kWh

HSP = Horas Solar Pico = 5.606 h

Wp= Potencia Panel = 0.410 kW

$$\frac{4.020 \times 1,3}{5.606 \times .25} = 3.72 (2)$$

Se necesitan aproximadamente 4 paneles de 250 watts para los hogares promedio. El siguiente procedimiento es el cálculo de las cantidades de baterías, usando la fórmula siguiente, y tomando en cuenta una batería de 115 ah:

$$\frac{Ex1,3}{Wbx0,5x0,9} = \text{Cant. de Baterias}$$

E = Consumo Diario = 4.020kWh

Wb = Potencia de batería = 115 ah x12 vdc= 1380 W

$$\frac{4.020}{1.380x0.5x0.9} = 8.42$$

Según estos resultados, se tendría que considerar la adquisición de 9 baterías y un inversor nominal de aproximadamente 1200 W.

Una vez obtenidos estos resultados, se realizó un ejercicio de cotización con una variedad de proveedores que tasaron una serie de “kits”. Se tomaron en cuenta tres “kits” para la propuesta de soluciones que se presentan en las tablas 11, 12 y 13.

Tabla 11. Kit presupuestado número 1

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Precio</b>
1	Kit de conectores MC4	\$766.66
1	Sistema de Tierras	
1	KIT de protecciones DC, AC	
1	KIT de Cableado y Tuberías	
1	Gabinete para accesorios	
2	Modulo Solar de 410 W	\$1502.29
1	Inversor YASSION 2000 Wonda senoidal pura 24 v /120 v	
8	Baterías Ciclo Profundo 116 Ah AKKU	
2	Estructura Sencilla	
<b>Total (dólares):</b>		

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. kit presupuestado número 2

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
4	PANEL RISEN 410WRSM72-6-410P	US\$ 145.00	US\$ 580.00

<b>1</b>	CAJA DE CONEXIONES MIDNITE MNPV3 MNPV3 Midnite Solar MNPV3 Combiner Box	US\$ 115.00	US\$ 115.00
<b>2</b>	BREAKER MIDNITE 150VDC, 15A MNEPV15-150 MNEPV15-150 Midnite Solar 150VDC MNEPV DIN Mount Breaker, 15A	US\$ 16.70	US\$ 33.40
<b>1</b>	INVERSOR CARGADOR GROWATT 3,000W SPF 3000TL LVM SPF 3000TL LVM	US\$ 700.00	US\$ 700.00
<b>1</b>	CAJA PARA BREAKERS MIDNITE MNBIGBABY MNBIGBABY Midnite Solar MNBIGBABY Big Baby Box Breaker Enclosure	US\$ 48.00	US\$ 48.00
<b>1</b>	BREAKER MIDNITE 150VDC, 100A MNEPV100 MNEPV100 Midnite Solar MNEPV100 DIN Mount Breaker, 100Amp, 150VDC, 1-Pole	US\$ 54.00	US\$ 54.00
<b>8</b>	BATERIA SELLADA CALE 12V, 115Ah CALE SOLAR	US\$ 120.00	US\$ 960.00
<b>2</b>	BATERIA SELLADA CALE 12V, 115Ah CALE SOLAR	US\$ 1,062.00	US\$ 2,124.00
		Total, más IVA	US\$ 5,352.70

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. kit presupuestado número 3

<b>Cantidad</b>	<b>Equipo</b>
<b>2</b>	Panel Solar de 410 Watts
<b>9</b>	Baterías de descarga Profunda de 120 Ah 12V
<b>1</b>	Inversor onda modificada 1500 W
<b>1</b>	Controlador de Carga MPPT de 30 A
<b>1</b>	Lote de accesorios de conexión, MC4, Cable Fotovoltaico y porta electrodo
<b>1</b>	Estructura de Montaje
<b>1</b>	Lote de Tornillería
<b>Total, más IVA (Pesos)</b>	\$46,826.88

Fuente: Elaboración propia.

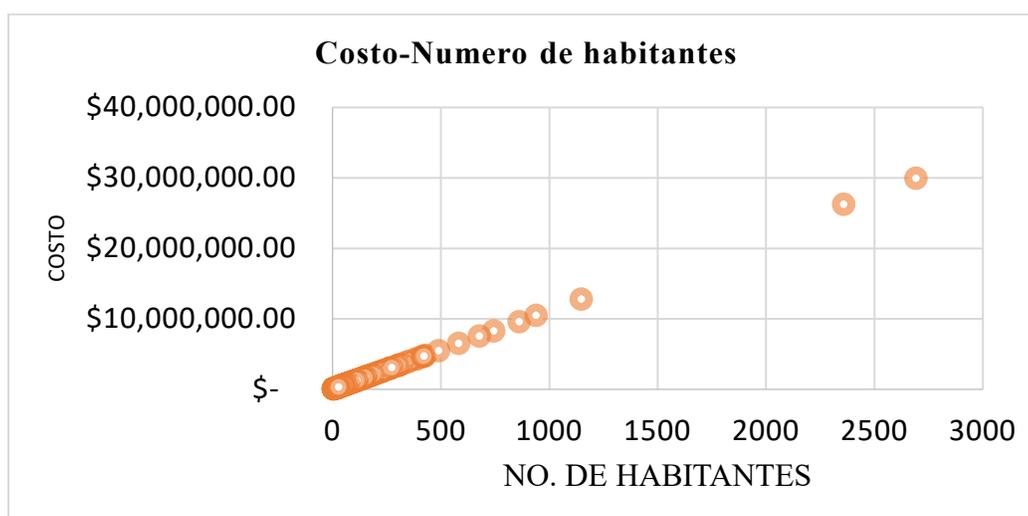
### V.III Propuesta de soluciones

Para la propuesta de soluciones se tomó el costo del kit número 1, con un total de, aproximadamente, \$2,269 dólares, debido a que se considera la propuesta más económica y más completa de lo que se requiere para las comunidades solicitadas que equivaldría al año consultado 2020 hasta, aproximadamente, \$45,532 pesos mexicanos.

Con respecto al costo de instalación se tomó en cuenta un precio de operación de una cuadrilla de oficiales eléctricos de alrededor de tres personas que cobren \$200 el día, y viáticos de \$200 pesos, considerando que por instalación tomaría alrededor de tres días en promedio; el costo por sistema instalado sería de \$1,200, aproximadamente. Estos datos se anexaron a la tabla de Resultados de electrificación del estado de Chiapas, referente a los costos totales, disponible en la siguiente liga: <https://bit.ly/3nA5qnJ>.

Asimismo, se llevó a cabo una gráfica para tener una idea de cómo se comporta el costo de instalaciones de panel solar con respecto a la población que se tiene, se observó que se obtuvo una gráfica lineal ascendente; caso contrario en las formas de conexión convencional en que el precio variaba, debido a las distancias que incrementaba el costo. En este caso, se observó que el precio aumenta conforme a la necesidad de consumo y a la cantidad de población que se requiere para realizar la instalación. Ver gráfica 7.

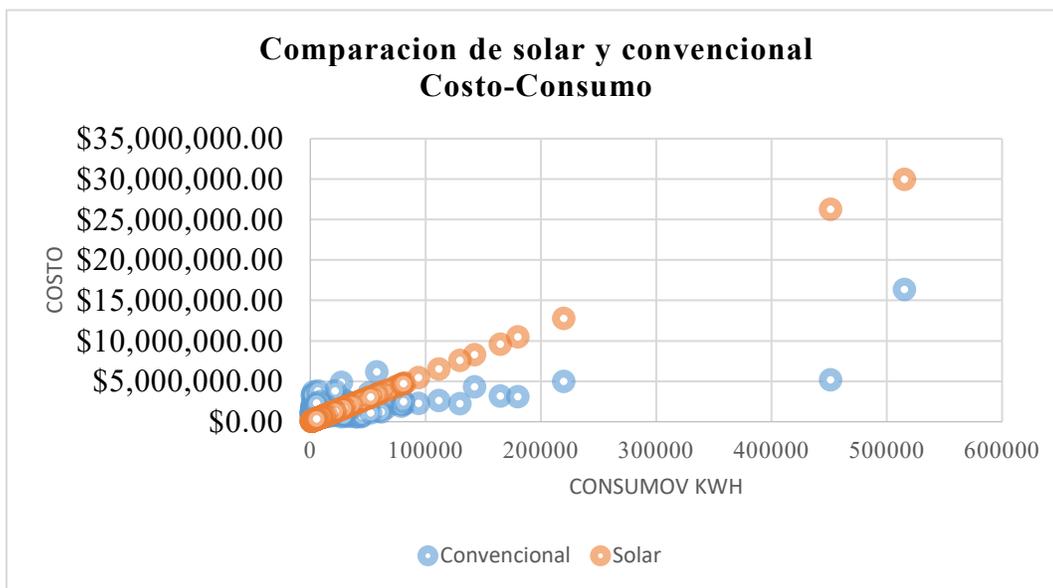
Gráfica 7. Costo total de sistemas contra número de habitantes



Fuente: Elaboración Propia.

Para tener un parámetro más amplio, comparamos los costos convencionales con los de instalación de paneles solares, teniéndolos como contrapunto. Ver gráfica 8.

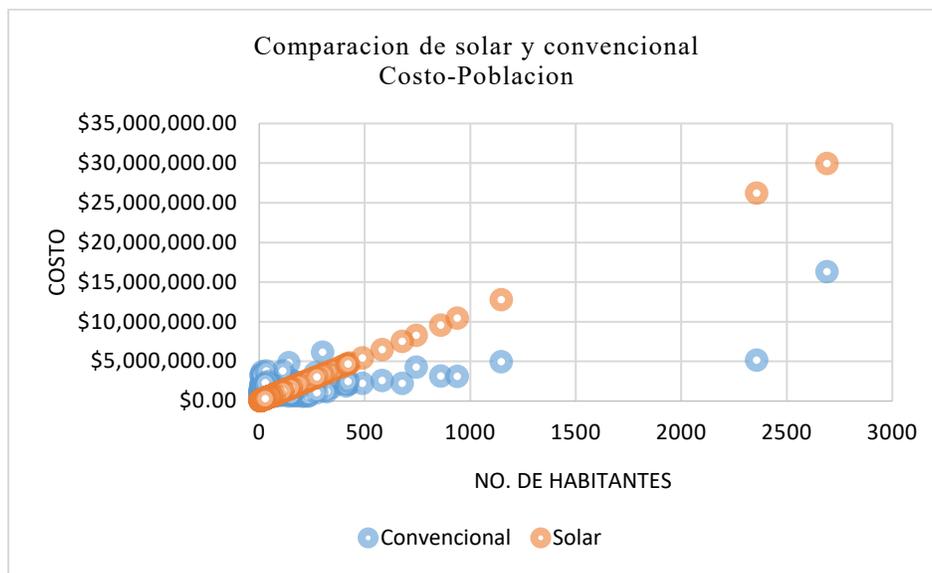
Gráfica 8. Comparación de costos entre solar y convencional entre consumo



Fuente: Elaboración propia.

A su vez, se realizó otro esquema que presenta un comparativo de costos entre solar y convencional entre población. Ver gráfica 9.

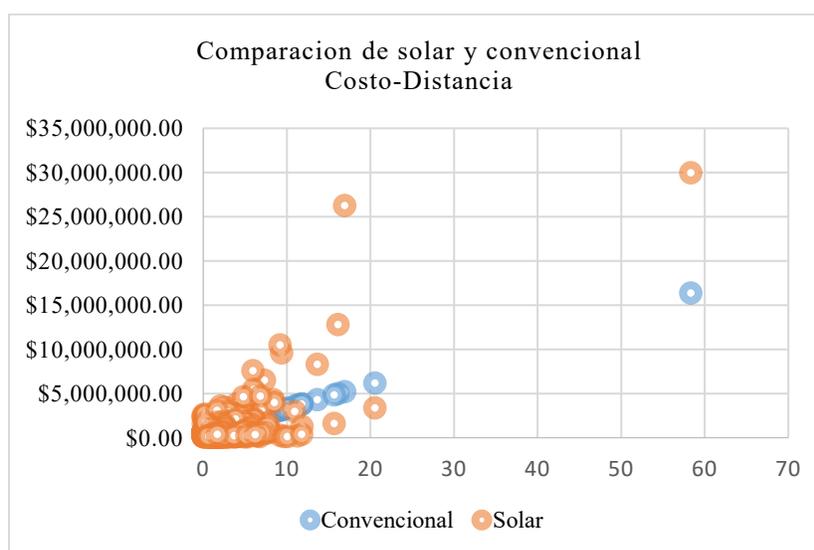
Gráfica 9. Comparación de costos entre solar y convencional entre población



Fuente: Elaboración propia.

Con estas gráficas, se puede observar que la mayoría de paneles solares tiene un costo menor de 5 millones de pesos, y que éste, depende y tiene un crecimiento exponencial conforme al número de habitantes y al consumo requerido, pues la variable que incrementa su costo es la energía requerida. A diferencia de la convencional que su costo varía, según la distancia como se observa en la gráfica 10.

Gráfica 10. Comparación de costos entre solar y convencional entre distancia



Fuente: Elaboración propia.

Con estos datos se puede establecer una división de dos tipos de comunidades: Las que deben ser conectadas mediante un modo convencional y las que requieren la instalación de paneles solares. Esto se pudo llevar a cabo mediante una comparación de viabilidad, cotejando los precios establecidos en el capítulo V.II, referente a: Determinación de alternativa, y utilizando la propuesta más económica, que en este caso es el kit número 1.

Durante el procedimiento de comparación de precios realizado en Excel, se evaluó si era viable o inviable la opción. Una vez determinada la viabilidad a través del cotejo de valores, se realizó la suma de los precios factibles de manera que se obtuvo un total de 114 proyectos viables de electrificación convencional, con un valor de \$164,845,178.22 pesos, y 656 proyectos asequibles de electrificación mediante paneles solares, con un valor de \$274,504,231.12, teniendo un valor total para todas las comunidades de \$ 439,349,409.34 pesos, con lo cual podemos observar que la forma más conveniente para electrificar dichas regiones es mediante un esquema mixto que se modifique, dependiendo de las variables que observamos que afectan al sistema. En estos casos, fueron la distancia para el sistema convencional y el consumo para los paneles solares.

Como antecedente, se conoce que el gasto que realizó CFE en electrificación en el año 2019, fue de 1,172 millones de pesos, lo cual en comparación con nuestros datos obtenidos es mayor a lo que se requiere, por lo que se puede observar que cualquier proyecto para electrificar todo el estado de Chiapas es bastante viable.

## Conclusiones

Para esta investigación se pretendió dar respuesta a una serie de cuestiones: ¿Cuáles son las comunidades que no tienen acceso a electricidad? y ¿cuánto costaría darle energía eléctrica a las poblaciones que aún carecen de este beneficio? Asimismo, se buscó encontrar una metodología para saber qué tipo de tecnologías benefician a dichas poblaciones, ya que debido a las distancias, las complicaciones de acceso, el nivel económico e incluso las condiciones atmosféricas, limitan y hacen difícil que los habitantes de Chiapas que carecen de electricidad puedan acceder a este bien. Por tal motivo, este trabajo proporciona un acercamiento a la solución y plantea una forma de planificación mediante proyecciones de los costos de dos tipos de acceso a la energía eléctrica.

Para dar respuesta a la primera pregunta se realizó el mapeo de cada una de las comunidades. En este sentido, fue necesario conocer el contexto de la comunidad, sus facilidades de conexión, el número de habitantes y determinar si la comunidad se encuentra completamente aislada o tiene comunidades aledañas con el mismo problema que pueda beneficiar a la hora de realizar la conexión. Esta última, fue una tarea larga pero necesaria porque se descubrió que muchas de las comunidades compartían energía eléctrica con sus vecinos, por lo que les beneficia para poder realizar una conexión convencional; sin embargo, también se halló que otras comunidades -de gran población- se encontraban a una distancia considerable; en dados casos, instalar paneles solares es lo más conveniente.

Se obtuvieron una serie de resultados interesantes que pueden o no ayudar a la comprensión de estas comunidades en tanto a sus necesidades, como su consumo eléctrico, estos se muestran en la siguiente tabla 14.

Tabla 14. Resultados obtenidos

	<b>Pobladores</b>	<b>Distancia</b>	<b>Costo total convencional</b>	<b>Costo por persona</b>	<b>Hogares promedio</b>	<b>Costo Total panel solar</b>	<b>Consumo población (kWh)</b>
<b>Min</b>	4	0	\$617,152.00	\$2,344.76	0.9523	\$44,506.38	3.8285
<b>Max</b>	2,692	58.354	\$17,851,686.77	\$332,615.43	640.9523	\$29,952,794.38	2,576.6285
<b>Total</b>	51,968	1,769.378	\$971,388,225.32	\$35,858,217.96	12,373.3333	\$578,226,901.33	49,740.8

Fuente: Elaboración propia.

Se observó un gran costo por persona para el medio convencional, lo cual abrió la posibilidad de buscar una tecnología que compensara las necesidades, y a su vez fuera más económica y práctica, teniendo la alternativa de los paneles solares. Aunque esta opción sigue siendo de gran impacto económico, se pudo distinguir que es mucho menor que el convencional, que es de alrededor de 400 millones de pesos. Dado el contexto de las poblaciones; es decir, la cercanía entre ellas y mediante una observación minuciosa sobre el comportamiento gráfico, se llegó a la conclusión de que se podría tener una solución mixta, es decir, combinar ambos tipos de suministro eléctrico, obteniendo 109 instalaciones

convencionales y 661 instalaciones con paneles solares. El costo total de las instalaciones se muestra en la siguiente tabla 15.

Tabla 15. Solución mixta

	<b>Instalación convencional</b>	<b>Instalación panel solar</b>	<b>Total</b>
<b>No.</b>	109	661	770
<b>Costo</b>	\$165,759,526.27	\$282,381,860.55	\$448,141,386.82

Fuente: Elaboración propia.

Con relación a la segunda pregunta, se obtuvo un valor aproximado del costo, siendo de \$448, 141, 386. 82. Al compararlo con el gasto público de electrificación de la CFE, se observó que este costo no es tan excesivo y puede ser una solución viable. El procedimiento se llevó a cabo a través de una descarga de datos en el programa de creación de hojas de cálculo Excel (ya mencionado anteriormente); dicho programa permitió no sólo catalogar las distancias, sino también el número de pobladores, el consumo de energía eléctrica, el consumo por persona, realizar cálculos de costo por persona y comunidad de instalación de acometida eléctrica para uso doméstico, realizar una comparativa con la tecnología de paneles solares, tomando los valores de casas promedio, según los valores del INEGI (2016). Con todos estos datos obtenidos fue posible realizar una comparativa de precios mediante la función “SI” del mencionado programa, en el que se pudo visualizar la opción más viable. A su vez, sumando las opciones, según el caso específico de la población, se formuló una solución tanto para tecnologías solares en las comunidades con difícil acceso, así como una conexión convencional en poblaciones que tuvieran cerca tendidos eléctricos.

Luego entonces, se llegó a la conclusión de que se necesita una solución mixta en la que se conjunten los sistemas fotovoltaicos, como la continuación de obra pública. Se puede ver bajo los dimensionamientos realizados que terminar la electrificación en este estado es viable, al menos en el aspecto financiero, aun siendo de los más pobres y con comunidades muy alejadas, se puede obtener un gran resultado, realizando la planeación pertinente. Asimismo, se pudo observar que existe una serie de variables que provocan que un tipo de instalación varíe. En el caso de las celdas solares el consumo de los usuarios es lo que determina el uso de paneles solares, por lo que esto eleva los costos del proyecto; caso muy diferente en la forma de conexión convencional, donde observamos que fueron las grandes distancias las que afectaron el precio final de instalación.

Cabe agregar que en este trabajo se realizaron suposiciones en las que las comunidades más alejadas se propusieron para ser candidatas a un sistema de celdas fotovoltaicas con sistema aislado; sin embargo, mediante el sistema de comparación de precios antes mencionado, en el que determinamos el costo más bajo comparando los valores del mismo caso, se observó que aunque muchas veces las grandes distancias pueden ser indicativas de que la población pueda o no ser candidata a un sistema fotovoltaico, también se debe considerar el consumo.

En un principio, se estimaba que el principal problema para electrificar a los ciudadanos restantes eran las grandes distancias en las que se encontraba una población con respecto a otra; pero, aunque se aprecie que existe un gran número de poblaciones no registradas ante el INEGI, las que sí lo están no se encuentran tan distanciadas de las que no lo están. Por tanto,

se entiende que el principal problema es la pobreza que sufre el estado de Chiapas, y con ello, la desigualdad, producto de una mala planeación, administración e inversión pública, contrario a lo que se intuía al inicio de esta investigación; es decir, que no había electrificación debido a los altos costos.

Concluyendo, entonces, se puede decir que la localización, mapeo y estudio de comunidades que necesitan algún servicio público (no sólo de electricidad) es un tema bastante controvertido por varios factores como: aislamiento en cuanto a distancia de grandes urbes, la falta de cuantificación de las entidades públicas o la escasa señalización o enfoque de la marginación que las poblaciones mexicanas padecen.

El estudio de este tipo de problemas es fundamental para el desarrollo nacional. Cuantificar, observar el comportamiento, desarrollo y necesidades de la población ayuda a vislumbrar cuáles pueden ser las respuestas tecnológicas, técnicas o administrativas que se pueden aplicar a cada problemática. En este caso concreto, se toma la alternativa del desarrollo de una solución técnica que, si bien pudiera no satisfacer las necesidades de todas las entidades, es un importante acercamiento a una respuesta pertinente, misma que aún no se ha planteado o proyectado ante las administraciones públicas, pero que estamos seguros de que es una propuesta factible.

## Referencias

Agencia EFE (12 de junio 2018). El 99,7 % de la población uruguaya tiene acceso a la red pública de energía. <https://bit.ly/3tRj1Ks>

Banco de desarrollo de América Latina (2021). Uruguay: líder en el uso de fuentes renovables en América Latina.

<https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2021/07/uruguay-lider-en-el-uso-de-fuentes-renovables-en-america-latina/>

Banco mundial (2022). Producción de electricidad a partir de fuentes renovables, excluida la hidroeléctrica (kilovatio-hora) - El Salvador.

<https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.ELC.RNWX.KH?locations=SV>

Barberá S. Daniel. (2016). Introducción a la Energía Fotovoltaica. ETSI de la Universidad de Sevilla: e-REdING.

Bellini Emiliano. (11 de noviembre 2020). La demanda mundial de módulos fotovoltaicos será de 143,7 GW en 2021, en PV Infolink. *PV MAGAZINE*. <https://bit.ly/2Y3TT5U>

Cámara de diputados. (2016). Fideicomiso del Fondo de Servicio Universal Eléctrico.

Gobierno de México. <https://bit.ly/3oP6epF>

- Capel, Horacio (17 de marzo 2015). III Simposio Internacional de historia de la electrificación. Ciudad de México, Palacio de Minería. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://bit.ly/3zLc0KA>
- Castañeda Jorge, Mazari Ivania, Molano Manuel, O. y Gala P. F. Javier. (2019). Análisis costo-beneficio de la instalación de paneles solares en las viviendas de la población más marginada de México. Instituto mexicano para la competitividad A.C. (IMCO). <https://bit.ly/2XV3ueH>
- Castro S. Gustavo (27 de febrero 2002). La energía eléctrica: historia y radiografía del patrimonio soberano de la nación. San Cristóbal de las Casas, Chiapas. Otros Mundos Chiapas. <https://bit.ly/3F6KQSu>
- CENACE (2019). Programa de Ampliación y Modernización de la Red Nacional de Transmisión y Redes Generales de Distribución del Mercado Eléctrico Mayorista. Gobierno de México. <https://bit.ly/3APGSv0>
- CFE (2021). Industria - Aportaciones. <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/OTROS/Aportaciones/>
- CFE (2019). Informe Anual 2019. CFE <https://bit.ly/3KQ6zB4>
- CFE (s/f.). Historia de la CFE. CFE. <https://bit.ly/3myswtG>

CONAPO (2011). Índice de marginación por entidad federativa y municipio 2010. Gobierno de México. <https://bit.ly/3AMyvAe>

CONEVAL (2010). Pobreza municipal 2010-Chiapas. <https://bit.ly/3y13oT2>

Díaz Corcobado Tomás y Carmona Rubio Guadalupe. (2010). Instalaciones solares fotovoltaicas. McGraw-hill / interamericana de España.

En el Green Power (2018). Etiopía: con EGP ve la luz la nueva era energética.

<https://www.enelgreenpower.com/es/historias/articulos/2018/08/egp-etiofia-nueva-era-energetica>

Global solar atlas (2022). México. <https://globalsolaratlas.info/download/mexico>

\_\_\_\_\_ China <https://globalsolaratlas.info/download/china>

\_\_\_\_\_ Germany <https://globalsolaratlas.info/download/germany>

Gobierno de México (11 de diciembre 2018). Un día como hoy, pero de 1881, las calles de la

Ciudad de México se iluminan por primera vez. Gobierno de México.

<https://bit.ly/30Yk2nV>

Gobierno de la república (2012). Plan nacional de desarrollo 2013-2018. Gobierno de México.

<https://bit.ly/3qUagOr>

González R., Reyes A. y Zunino M. (2011). Políticas de acceso a la energía en contextos de vulnerabilidad socioeconómica y/o territorial en el Uruguay. Dirección Nacional de Energía, Ministerio de Industria, Energía y Minería.

<https://slideplayer.es/slide/8887658/>

GOV.CO (2020). Características de la radiación solar. <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar>

INEGI (2016). Inventario Nacional de Viviendas 2016.

<https://www.inegi.org.mx/app/mapa/INV/Default.aspx?ll=18.732035,-99.06368499999996&z=10>

INEGI. (2015). Vivienda, INEGI encuesta intercensal 2015. Gobierno de México.

<https://bit.ly/2XMj1O1>

Junghanss, Roberto. (2018). Instalación de paneles solares. *Negocios de seguridad*, 118, 102-

104. <https://bit.ly/3APdN2B>

Limón Portillo Alejandro (2 de junio 2017). Energía solar en México: su potencial y aprovechamiento. Centro de Investigación Económica y Presupuestaria, A. C.  
<https://bit.ly/3CORafl>

Mengpin Ge, Johannes Friedrich y Leandro Vign (02 de septiembre 2021) Cuatro gráficos que explican las emisiones de gases de efecto invernadero por país y por sector en Wrimexico.org. <https://bit.ly/3qUoXAN>

Naciones Unidas (s/f.). Objetivo 7: Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna. <https://bit.ly/3GTBXfj>

Naciones Unidas (2018). La Agenda 2030 y los objetivos de desarrollo sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Santiago. <https://bit.ly/3AYoKPi>

NASA (2020). NASA, Prediction Of Worldwide Energy Resources.  
<https://power.larc.nasa.gov/>

Parra, Alma L. (1988, Octubre-marzo). Los orígenes de la industria eléctrica en México: las compañías británicas de electricidad (1900-1929). Revista de la Dirección de Estudios Históricos. Num. 19. <https://bit.ly/3mCYJAa>

PNUD (2022). Objetivos de desarrollo sostenible. <https://www.undp.org/es/sustainable-development-goals>

Secretaría de patrimonio y fomento industrial (1980). Programa de energía. Metas a 1990 y proyecciones al año 2000 (Resumen y conclusiones). Gobierno de México.

<https://bit.ly/2YAUwnk>

SENER. (09 de julio 2020). Programa Sectorial de Energía 2020 - 2024. Gobierno de México. <https://bit.ly/3oUID73>

SENER (2019). Informe pormenorizado sobre el desempeño y las tendencias de la industria eléctrica nacional. Gobierno de México. <https://bit.ly/3ue8Z4m>

SENER (2018). Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. <https://bit.ly/3rY39V4>

Subsecretaría de planeación y transición energética (2014). Balance nacional de energía 2013. Gobierno de México. <https://bit.ly/3HzEQ5J>

Velázquez M. Jorge Iván. (2019). Distribución del gasto de inversión en México. CIEP. <https://bit.ly/3zMfSec>

Villavicencio Peralta Xuzel A. (2020). La importancia de la ingeniería en el desarrollo sostenible <https://ucsp.edu.pe/la-importancia-de-la-ingenieria-en-el-desarrollo-sostenible/>