

**(05-025) - SOLAR ENERGY, AN IMMEDIATE RESPONSE TO PROVIDE
ELECTRICITY IN NATURAL DISASTERS, THE CASE OF HURRICANE OTIS IN
ACAPULCO, MEXICO.**

Campos Guzmán , Verónica ¹; Cruz Guzmán, Virgilio ²; García-Cáscales, María Del Socorro ¹

¹ UPCT, ² UAGRO

When a place experiences the impact of a hurricane in its maximum category, it is logical to think that essential services such as water and electricity may take days or months before they are reestablished. 90 days after the passage of the category 5 hurricane OTIS that devastated the port of Acapulco in Mexico, basic services remain intermittent and, in some locations, have not yet been restored. This article shows that solar energy is a good alternative for immediate electricity supply after a natural disaster. Considering that phenomena such as OTIS will be increasingly recurrent in ports such as Acapulco, the objective of this research is a proposal on the installation of an autonomous photovoltaic system (SFVA) for each home, thus having an auxiliary electrical supply system before natural phenomena; The sizing of the proposed SFVA is based on the analysis of the basic needs of the target population (Acapulco). If a home has its SFVA, then it guarantees the conservation of food, medicine and immediate connection. Regarding technical and economic feasibility, it is proposed that it be carried out in a coordinated manner with the decision-makers of the Mexican government

Keywords: Sustainability; Photovoltaic Systems; Climate Change

**ENERGÍA SOLAR, UNA RESPUESTA INMEDIATA PARA PROPORCIONAR
ELECTRICIDAD ANTE DESASTRES NATURALES, EL CASO DEL HURACÁN OTIS
EN ACAPULCO, MÉXICO.**

Cuando un lugar experimenta el embate de un huracán en su máxima categoría, es lógico pensar que servicios esenciales como el agua y electricidad pueden tardar días o meses antes que se reestablezcan. A 90 días del paso del huracán OTIS categoría 5 que devastó el puerto de Acapulco en México, los servicios básicos siguen intermitentes y en algunas localidades aún no se han restablecido. Este artículo pone de manifiesto que la energía solar es una buena alternativa para el suministro eléctrico inmediato después de un desastre natural. Considerando que fenómenos como OTIS, serán cada vez más recurrentes en puertos como Acapulco, el objetivo de esta investigación es una propuesta sobre la instalación de un sistema fotovoltaico autónomo (SFVA) para cada vivienda, contando así, con un sistema de suministro eléctrico auxiliar ante fenómenos naturales; el dimensionado del SFVA propuesto se basa en el análisis de las necesidades básicas de la población objetivo (Acapulco). Si una vivienda cuenta con su SFVA, entonces garantiza la conservación de alimentos, medicamentos y conexión inmediata. En lo que respecta a la viabilidad técnica y económica se plantea que se lleve a cabo de manera coordinada con los decisores del gobierno mexicano.

Palabras clave: Sostenibilidad; Sistemas Fotovoltaicos; Cambio Climático

Correspondencia: vcamposguzman@hotmail.com



©2024 by the authors. Licensee AEIPRO, Spain. This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

1.- Introducción

El impacto de los huracanes en la infraestructura eléctrica de un país puede ser devastador y tener consecuencias a corto y hasta largo plazo (Farghali et al., 2023), algunos impactos negativos son: la interrupción del suministro eléctrico, seguridad y salud pública. Los huracanes, con su viento destructivo y fuertes lluvias, pueden derribar postes de luz, líneas de transmisión y subestaciones eléctricas, lo que resulta en cortes masivos de energía (Rodríguez Gámez et al., 2012). Estas interrupciones pueden afectar a áreas extensas y dejar a millones de personas sin electricidad durante días, semanas o incluso meses, dependiendo de la magnitud del huracán y la capacidad de recuperación del sistema eléctrico, abordar estos desafíos requiere un enfoque integral que combine medidas de preparación, respuesta y recuperación, así como una mayor inversión en infraestructura resiliente y sostenible (Rivas, 2018a). En este sentido, las energías renovables han jugado un papel muy importante para afrontar las crisis generadas por desastres naturales, las evidencias muestran que han jugado un papel importante en crisis provocadas por fenómenos naturales como terremotos, huracanes, inundaciones, tsunamis, erupciones volcánicas, sequías, etc. Por ejemplo, en 2017 en Puerto Rico, el huracán María paso por la isla y fue la causa de la muerte de muchas personas, el aislamiento de varias zonas; la falta de energía eléctrica y de combustible agravó las operaciones de refugios, hospitales y, más allá, la incapacidad de volver a la normalidad, sin embargo, el uso de energía renovable proporciono soluciones para ayudar en la recuperación; se instalaron sistemas de energía solar y almacenamiento de baterías en áreas donde la infraestructura eléctrica convencional estaba gravemente dañada, con esto se proporcionó una fuente de energía temporal y complementaria (Rivas, 2018b).

En este contexto, la energía solar fotovoltaica ha sido la gran protagonista por su práctica instalación y su economía en comparación con el resto de energías (Acosta-Pazmiño et al., 2021; Becerra-Pérez et al., 2021; Santoyo-Castelazo et al., 2021) por ejemplo, la ONG Direct Relief quien desde 1948, trabaja para ayudar a las personas que enfrentan enormes dificultades para recuperarse de los desastres naturales (<https://www.directrelief.org/emergency/>) decidió emplear energía solar fotovoltaica en Puerto Rico tras el paso del huracán María, detectaron que el lugar contaba con casi 3.000 horas de luz solar al año y ponderaron la instalación de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos (SFVA), llegaron a la conclusión que su practicidad en instalación y su costo eran los indicadores claves para decidir invertir en paneles solares.

En Ecuador a raíz de las erupciones volcánicas experimentadas, se ha propuesto la inversión de sistemas fotovoltaicos y sistemas de almacenamiento en base a baterías para mejorar la resiliencia de las redes de distribución frente a eventos extremos, el objetivo es claro: mantener el suministro de cargas críticas tales como albergues, hospitales, entre otros (Saltos et al., 2022).

Por otro lado, investigadores de la universidad de Ohio de Estados Unidos plantean un método para la instalación de sistemas fotovoltaicos en autobuses para afrontar las contingencias ocasionadas por desastres naturales, la principal contribución de esta investigación es el desarrollo de un marco de apoyo a la toma de decisiones adaptable y computacionalmente factible para determinar configuraciones rentables de paneles fotovoltaicos para mitigar los efectos de las contingencias de interrupción de la línea eléctrica (Kushal & Illindala, 2021).

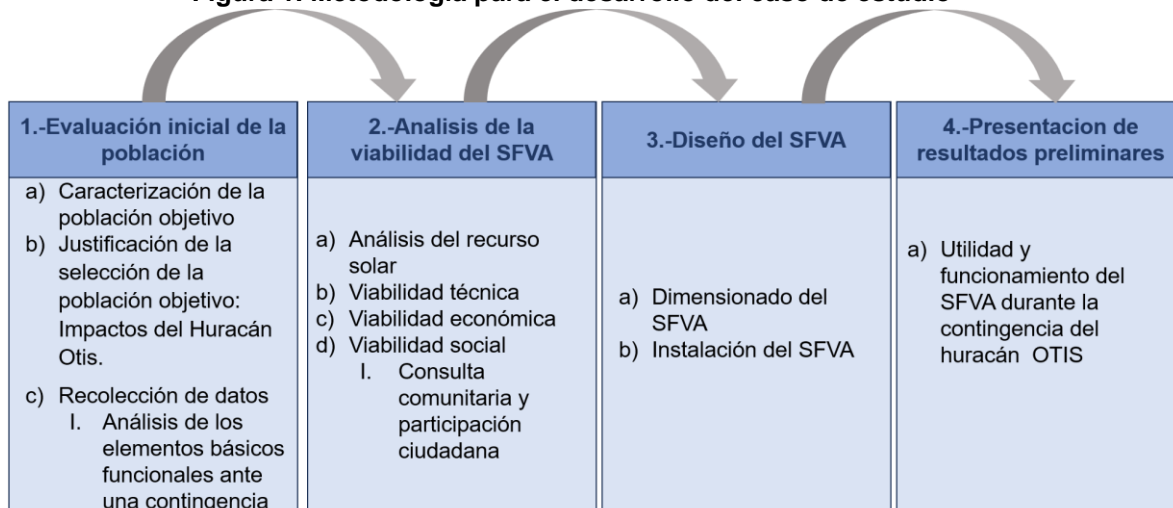
En lo que respecta a México, también ha experimentado los efectos de fenómenos naturales, como terremotos y huracanes, el pasado 25 de octubre del 2023 el huracán Otis categoría 5 con rachas de hasta 360 km/h, azotó el puerto de Acapulco, ubicado al sur; como saldo dejó un gran número de fallecidos, desaparecidos y a toda la población sin los servicios básicos durante varias semanas. Ante la problemática de la falta de energía, un grupo de profesores investigadores se dio a la tarea de instalar SFVA en algunas zonas rurales para el bombeo de agua a razón de esto surgen los objetivos de esta investigación que se plantean a continuación; primero mostrar los resultados de la instalación de SFVA para bombeo de agua en las comunidades que quedaron aisladas tras el paso del Huracán Otis en Acapulco, es importante comunicar la funcionalidad de los SFVA ante este tipo de desastres, así como también la percepción y la aceptación de la sociedad a nuevos sistemas proveedores de energías diferente al tradicional; segundo proponer el dimensionado y la instalación de un SFVA en las viviendas como un sistema eléctrico alternativo en caso de un desastre natural en Acapulco.

La estructura de este trabajo está de la siguiente manera, el epígrafe 2 presenta la metodología y su aplicación al caso de estudio propuesto y se presentan algunos resultados, luego el epígrafe 3 presenta las conclusiones y trabajos futuros.

2.- Metodología

La metodología de esta investigación está integrada por 4 fases (Figura 1), primero se propone realizar una evaluación inicial de la población, se analizan algunos antecedentes sobre desastres naturales, se recolectan datos sobre el consumo energético necesario ante una contingencia, en una segunda fase se analiza la viabilidad del SFVA, técnica, económica y social, el diseño del SFVA se planea en la tercera etapa de esta metodología, la implementación y algunos resultados se presentan en la fase final de esta investigación.

Figura 1. Metodología para el desarrollo del caso de estudio



2.1 Evaluación inicial de la población

2.1.1 Caracterización de la población objetivo

El puerto de Acapulco se encuentra ubicado en el estado de Guerrero, al sur de México, según el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), la ciudad de Acapulco tiene una población de 779,566 habitantes de los cuales 47.7% son hombres y

52.3% son mujeres, existen 220,820 viviendas habitadas, de las cuales el 99.6 % cuentan con servicio de energía eléctrica. Acapulco, como todas las sociedades está compuesta por grupos y cada uno de ellos presenta sus propias necesidades después de la suspensión del servicio eléctrico. La tabla 1 presenta una clasificación sobre los grupos identificados en una sociedad, esta división se construye con especialistas en sociología de la unidad académica de ciencias sociales de la UAGro y quienes han presentado también el estudio sobre el impacto de Otis en los estudiantes de esta misma institución (Esteban Solano, 2023).

Se identificaron los grupos alineando las desventajas que presentan ante el fallo del servicio eléctrico.

Tabla 1. Clasificación de grupos y sus necesidades después del fallo de la energía eléctrica

Grupo o sector	Desventajas ante el fallo de energía eléctrica
Viviendas	Inseguridad, Alimentación inadecuada, Perdida de comunicación, Falta de refrigeración e Incapacidad para utilizar equipos médicos
Establecimientos de comercio del sector privado (tiendas comerciales, empresas privadas)	Perdida de ventas, Incapacidad para realizar operaciones, Perdida de inventario e Inseguridad (Rapiña en el caso de Otis, consultar los informes oficiales)
Unidades de Salud (Hospitales, clínicas y centros de salud públicos y privados)	Perdida de equipos médicos críticos, Interrupción de tratamientos y procedimientos médicos, Dificultad en diagnóstico, Perdida de suministros e Inseguridad.
Unidades de seguridad y comunicación	Limitación en capacidad de respuesta y coordinación, Dificultad de movilización e Inseguridad
Instituciones educativas	Interrupción de clases, Falta de iluminación y climatización, Inseguridad (robos de los equipos)
Sector turístico (Hoteles, posadas y alojamientos)	Perdida de servicios con la calidad requerida
Alumbrado publico	Inseguridad y Dificultad de trafico

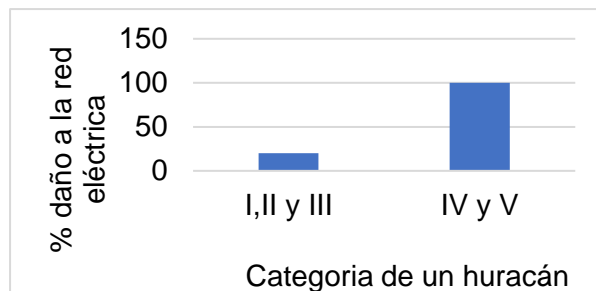
Basados en el análisis de la Tabla 1, esta investigación toma el sector de viviendas en el puerto de Acapulco como la población objetivo. Así, definimos el conjunto de todas las viviendas del municipio de Acapulco como el grupo propuesto para instalar un sistema fotovoltaico autónomo (SFVA).

2.1.2 Justificación de la selección de la población objetivo: Impactos del Huracán Otis.

La historia nos muestra que la población del puerto de Acapulco ha experimentado una serie de fenómenos meteorológicos (Esteves, s. f.), a su paso cada uno de ellos ha dejado estragos y huellas que perduran en la historia de la ciudad (Tabla 2).

Ante el paso de un huracán, las cifras en indicadores comunes como: pérdidas humanas y tiempo de recuperación en la energía eléctrica, varían entre una categoría y otra. De hecho, el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, La Habana, Cuba realizo un estudio donde clasifican el impacto sobre los huracanes en el sistema eléctrico, esto de acuerdo a su categoría (Figura 2) (Rodríguez Gámez et al., 2012)

Figura 2. % del daño a la red eléctrica, según la categoría de un huracán (fuente : (Rodríguez Gámez et al., 2012)



El pasado 25 de octubre del 2023, a las 00:30 am impacto en el puerto de Acapulco el Huracán “Otis”, catalogado como un huracán categoría 5 extremadamente peligroso con rachas de vientos de hasta 360 km/h, sin embargo, la ciudadanía se quedó a ciegas desde las 23:00 horas del día 24, toda la ciudad quedo a oscuras y cada familia se resguardo como pudo. Ninguna vivienda cuyo techo era de lámina resistió los impactos de Otis (Leyva, 2024). Acapulco se quedó sin servicios básicos y pronto una lucha por el alimento y la medicina inicio entre la ciudadanía.

Aunque, el rostro más trágico y evidente del desastre es el de las personas que pierden la vida tras el impacto inmediato. Otro fenómeno menos evidente, pero igualmente pernicioso, es el aumento en la morbimortalidad en las semanas siguientes debido a las alteraciones habidas por la carencia de servicios, en especial de agua potable y electricidad, la falta de energía eléctrica en el puerto origino decesos a raíz de los siguientes problemas en la población:

- a) Escases de insulina para personas diabéticas, varios casos de deceso fueron registrados por falta de este medicamento.
- b) El hecho que las tiendas comerciales quedaran destruidas y a oscuras dio lugar a actos de “rapiña” por parte de la población y personas de otras ciudades que aprovecharon la situación para robar todo lo que quedo a la intemperie (Esteban Solano, 2023). De hecho, se registraron al menos 6 decesos de personas en estas acciones, la oscuridad no permitía visualizar las cajas apiladas y mal acomodadas que dejo el paso del huracán y esto provoco que cayeran sobre las personas y terminaran varios casos en tragedia.
- c) Los casos de dengue se dispararon, una combinación de factores como la basura, lodo y la falta de energía dio lugar a varios decesos entre ellos niños.

Tabla 2. Desastres naturales que han sucedido en el puerto de Acapulco, Guerrero, México (fuente: Elaboración propia, datos del INEGI y otras fuentes)

Año	Tipo de desastre natural	Intensidad o categoría	Perdidas (humanas)	Tiempo estimado de recuperación de la energía eléctrica (semanas)	Rachas de viento (km/h)
1997	Huracán (Pauline)	3	230	3	160
2013	Huracán (Manuel)	1	123	1	90
2013	Huracán (Ingrid)	1	76	1	70-90

2022	Sismo	7.1	17	3	NA
2023	Huracán (Otis)	5	360	12	329

En lo que respecta al sistema eléctrico mexicano, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) reportó el daño total de la red eléctrica, más de 12,500 postes derribados, y toda la infraestructura colapsada, la CFE reportó que el daño del sistema eléctrico fue del 100% lo cual coincide con la clasificación expuesta en (Rodríguez Gámez et al., 2012) y gráficamente en las Figuras 3a, 3b y 3c. Aunque medios oficiales reportaron que la energía eléctrica se recuperó después de 10 días, la realidad es que pasaron al menos 10 semanas para que las colonias de la periferia comenzarán a tener energía eléctrica de manera intermitente, de hecho, aún sigue presentando problemas, pues a diario hay apagones y se interrumpen trabajos y servicios como: Home office, atención médica, internet, etc.

Figura 3a: Impactos de Otis en la zona centro



Figura 3b: Impactos de Otis en la periferia



Figura 3c: Impactos de Otis en la zona costera



Finalmente, una de las justificaciones por las que se define esta población objetivo es porque; días posteriores al paso del Huracán Otis, por la falta de energía y agua potable profesores y alumnos del Centro Regional Educativo Superior de la Costa Chica (CRESCH) instalamos al menos 3 SFVA con capacidad de 1.5 kWp en diferentes puntos de la ciudad, se consideraron viviendas de la periferia y que además contaran con una noria (una noria, es un pozo profundo donde se extrae directamente el agua para consumo). Se instalaron 3 sistemas de bombeo ya que el agua era tan urgente como la energía, aunado a esto se procedió a realizar una encuesta, lo que se obtuvo de esta se describen en la sección de resultados.

2.1.3 Recolección de datos

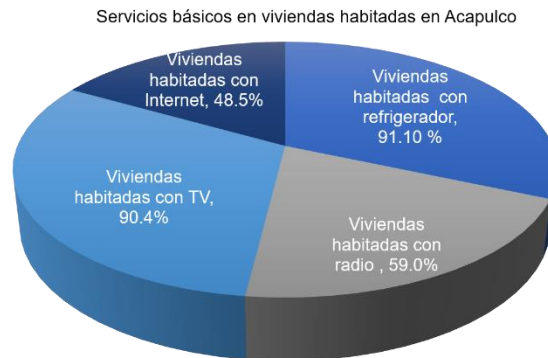
2.1.3.1 Análisis de los elementos básicos funcionales ante una contingencia

En esta sección se analizan los servicios básicos a los que debe tener acceso una vivienda, que cantidad de energía necesita una familia promedio en Acapulco para suplir las necesidades básicas ante una contingencia.

Durante la contingencia del paso del huracán Otis, se formaron brigadas por parte del CRESCH y se realizaron recorridos en algunas colonias del puerto, principalmente las que se encuentran en la periferia. Mediante esta actividad se realizaron algunas revisiones y el equipo se percató que en todas las familias existe al menos una persona con diabetes, de las cuales un alto porcentaje requiere insulina, considerando que la insulina es un medicamento que requiere refrigeración, el equipo llega a la conclusión que es necesario contar con un dispositivo de refrigeración ante estas contingencias.

Alineando los datos que se recabaron en las colonias visitadas y con lo que reporta el INEGI, se obtuvo la gráfica que se muestra en la figura 4, refrigerador, radio, TV e internet son algunos dispositivos que deberían funcionar ante una contingencia. Sin embargo, el equipo de investigación concluyó que el SFVA que sirva como soporte en el servicio eléctrico ante una contingencia, debe considerar los elementos que se muestran en la fase de diseño del SFVA de esta metodología.

Figura 4. Servicios básicos requeridos en viviendas de Acapulco ante una contingencia

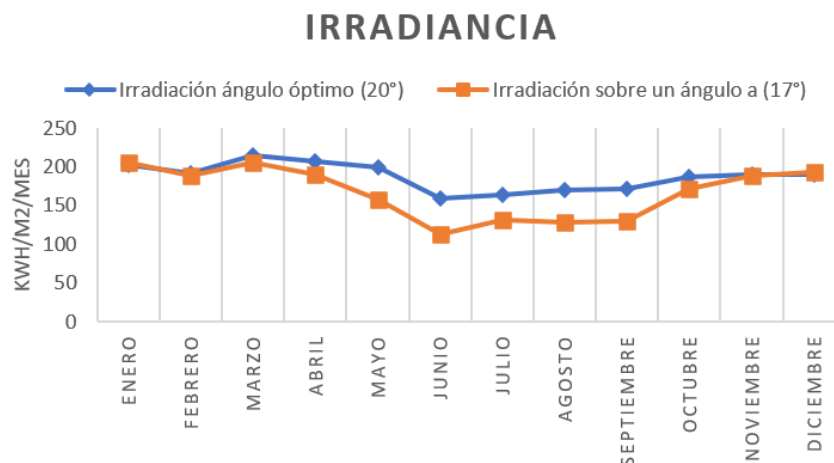


2.2 Análisis de la viabilidad del SFVA

2.2.1 Análisis del recurso solar

Acapulco se encuentra en la latitud 16.84942 y longitud -99.90891 tiene un clima cálido y soleado, lo que significa que hay una buena cantidad de radiación solar disponible para la generación de energía solar. La grafica de la figura 5, está basada en los registros de los últimos 15 años que reporta la plataforma PVGIS ([Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica \(PVGIS\) del CCI - Comisión Europea \(europa.eu\)](http://Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica (PVGIS) del CCI - Comisión Europea (europa.eu))).

Figura 5. Irradiancia mensual promedio en Acapulco



Basados en los datos que reporta PVGIS, Acapulco tiene entre 6 y 7 horas solares pico diarias, lo que significa que su recurso solar es abundante y apto para la instalación de un SFVA.

2.2.2 Viabilidad técnica

Primero partimos de que los Sistemas Fotovoltaicos (SFV) son una opción eficaz y sostenible para electrificar en zonas rurales (Bello et al., 2009; Castiella, 2022; Mejía-López et al., 2020), por ser de fácil instalación. En Acapulco y específicamente en el CRESCCH se encuentra un grupo de académicos expertos en la instalación de SFVA quienes están en la mejor disposición de brindar capacitación para la instalación de los SFVA en las viviendas. En resumen, se cuenta con la tecnología a la mano, el personal capacitado y espacios físicos en las viviendas para su fácil instalación de los SFVA.

2.2.3 Viabilidad económica

“Reconstrucción de Acapulco” es el programa que el gobierno federal puso en marcha para reactivar la ciudad, este consiste en dotar de apoyos económicos a todas las viviendas en el puerto, termino la primera fase que doto de aproximadamente de \$105 000 (ciento cinco mil pesos mexicanos) unos 5800 euros aproximadamente, además de proveer enseres como Refrigerador, estufa, colchones y utensilios de cocina. La segunda fase del programa inicia a fines de julio y su objetivo es activar un plan sobre prevención de desastres naturales, esto es, dotar a la población de material, capacitación y recursos para enfrentar contingencias provocadas por un desastre natural. En este contexto, se ha ingresado un proyecto ante el gobierno municipal de Acapulco para que la instalación de los SFVA sean parte de los apoyos que integran la siguiente fase de la reconstrucción de Acapulco, ya que el costo de un SFVA que funcione como un sistema alternativo energético, asciende aproximadamente a unos 50 000 pesos mexicanos, unos 2000 euros aprox. En el proyecto se proponen dos líneas, la primera que sea el gobierno quien adquiera los paquetes de los SFVA y dote a cada vivienda y que sean los profesores del CRESCCH quienes proporcionen la capacitación para su instalación. La segunda opción: que se le proporcione el recurso económico al responsable de cada vivienda y solicite la capacitación de su instalación al CRESCCH.

2.2.4 Viabilidad social: Consulta comunitaria y participación ciudadana

En este punto, es importante mencionar que el impacto de Otis marco un antes y un después en la ideología de las personas acerca del uso de las energías renovables; en el trabajo de campo que realizo por parte del Centro Regional Educativo Superior de la Costa Chica (CRESCCH) de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGro) sobre la instalación de 3 SFVA para bombeo de agua, las personas expresaron lo siguiente:

“Nosotros pensábamos que esto era para los que les gustaba cuidar el medio ambiente, pero ahora vemos que nos puede salvar ante un desastre como este que estamos viviendo, si tuviéramos uno de estos en casa podríamos tener un refrigerador y guardar insulina y algunos alimentos, alumbrarnos y poner al menos un ventilador para mitigar un poco los zancudos, además no estaríamos tan expuestos a oscuras”

En este sentido, se debe aprovechar la disposición y sensibilidad de la sociedad.

2.3 Diseño del SFVA

2.3.1 Dimensionado del SFVA

Basados en todos los análisis de las fases anteriores de esta metodología, en la tabla 4 se presentan los elementos que estarán conectados al SFVA, mediante esto se calcula la

potencia requerida. 2kWp es la potencia nominal adecuada según los requerimientos de la tabla 4. Se consideraron viviendas de una sola habitación ya que según INEGI el 90 % de las viviendas habitadas con electricidad cuentan con una sola división para una sola habitación, independiente de la sección de sala, cocina y comedor.

Tabla 4. Cálculo de la potencia del SFVA

ELECTRODOMESTICOS (Corriente Alterna)					
Dispositivo	No	Watts	Horas uso día	Wh/d	energía requerida con el rendimiento del inversor (0.90) (Wh/d)
Televisor	1	75	4	300	
Refrigerador	1	110	23	2530	
Internet	1	30	24	720	
Enchufe	2	20	8	320	
ventilador pedestal	2	15	3	90	
Total				3960	4400
FOCOS (corriente continua)					
Estancia	No	No focos	Watts	Horas uso c	Wh/d
Cuarto	1	1	15	8	120
Baño	1	1	15	8	120
Cocina	1	1	15	8	120
Patio	1	1	15	8	120
Sala	1	1	15	8	120
Total					600
POTENCIA DEL GENERADOR					
Energía requerida	5000 Watts				
Factor de seguridad	1.3				
Horas solares pico (Acapulco)	7 horas		2	kWp	
Potenica pico del panel	500 Watts				

2.3.2 Instalación y montaje del SFVA

Aquí es importante seleccionar el lugar adecuado para instalar el SFVA en las viviendas, pues se debe garantizar su seguridad y estabilidad a largo plazo, no basta solo disponer de un área para su montaje sino más bien se deben tomar en cuenta aspectos técnicos que garanticen su funcionamiento en situaciones adversas del clima.

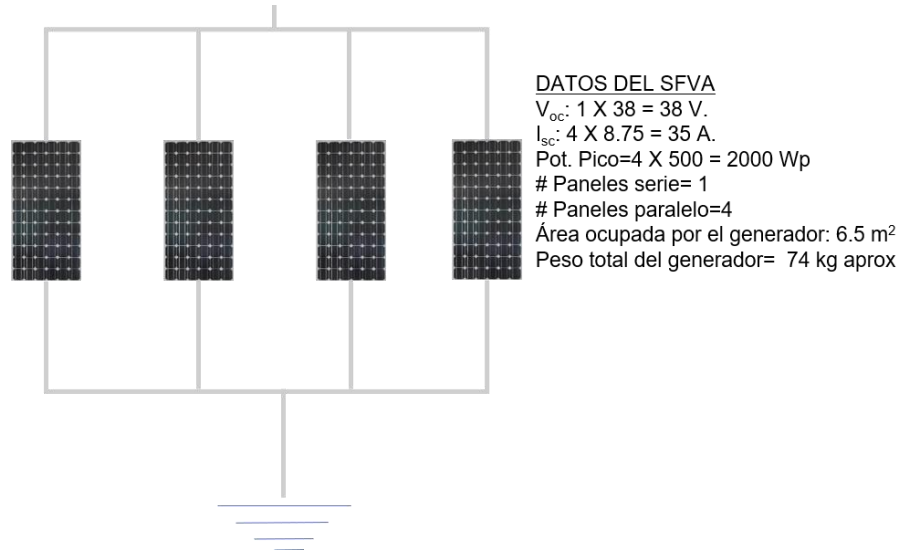
Aquí se presentan algunas consideraciones y recomendaciones que algunos autores han propuesto basados en experimentos sobre instalación de paneles en ambientes con turbulencia.

(Hernández et al., 2022; Leitch et al., 2016a; Llanusa et al., 2016) han realizado análisis sobre la estructura y configuración de los paneles en un SFVA bajo condiciones de vientos adversas, recomiendan que los paneles deben colocarse 2 metros de distancia entre el frente y parte trasera del techo y 3 metros de los laterales del techo esto para evitar efectos de turbulencia. Además, recomiendan dejar 25 cm de distancia entre el panel solar y el piso, esto para obtener una circulación de aire adecuada y no pasar una altura que comprometa el sistema.

En lo que respecta al SFVA propuesto en esta investigación, se considera un panel cuya potencia es de 500 Wp, por tanto, se necesitan 4 unidades para cumplir con la potencia requerida (2kWp) (Figura 6). En primera instancia se propone seleccionar solo aquellas viviendas cuyo techo sea de concreto, además de una estructura de montaje con material

de PTR industrial de 11 pulgadas (Llanusa et al., 2016). Durante las inspecciones rápidas para valorar el desastre que dejó OTIS se pudo apreciar que todas aquellas viviendas con un techo cuyo material era distinto al PTR-industrial, no soportaron y fueron arrastradas por las rachas de viento que provocó OTIS.

Figura 6. Arreglo del SFVA para instalar en las viviendas de Acapulco



2.4 Presentación de resultados preliminares

2.4.1 Utilidad y funcionamiento del SFVA durante la contingencia del Huracán OTIS.

Se instalaron 3 SFVA en algunas zonas aisladas de Acapulco (Figura 7), con una potencia nominal de 1.5 kWp con la instalación de estos sistemas se obtuvieron los siguientes resultados:

Hacer conciencia en la sociedad sobre el uso de energías alternativas, específicamente el uso de la tecnología fotovoltaica ante una contingencia, se rompió el paradigma de que las tecnologías renovables solo son para grandes construcciones, o amantes del medio ambiente o peor aún para las personas con cierto poder adquisitivo, con la instalación de estos SFVA se logró cambiar la mentalidad de todos los individuos beneficiados, ahora el objetivo es que estas personas sirvan como agentes de cambio en el resto de la población vecina.

Al menos 100 familias se beneficiaron de manera escalonada al proveerse de agua durante las 10 semanas posteriores al Huracán Otis.

Se ha formado un equipo multidisciplinario de profesores cuyo objetivo es brindar la capacitación a la población sobre la instalación de SFVA en sus viviendas.

Figura 7. Instalación de un SFVA de bombeo en una colonia de la periferia de la ciudad de Acapulco, después del paso del huracán Otis



3. Conclusiones y trabajos futuros

En cuanto a las políticas públicas y planificación urbana, a partir de ahora, la construcción de políticas públicas debe tomar en cuenta fenómenos como OTIS y su toma de decisiones debe estar basada en afrontar desastres naturales de esta magnitud, es urgente la construcción de planes de acción preventivos y no correctivos, la experiencia que dejó el fenómeno de OTIS debe servir como guía para mitigar los impactos de futuros desastres naturales.

Fenómenos naturales con un impacto devastador como el huracán Otis, a partir de ahora serán una constante en ciudades costeras como Acapulco. La situación nos obliga a cambiar nuestra forma de vivir y pensar en planes preventivos que nos permitan afrontar con resiliencia futuros desastres naturales, por esta causa esta investigación propone que las energías renovables, especialmente la solar fotovoltaica pueden jugar un papel importante en la planificación para hacer frente de manera inmediata ante la falla del sistema energético tradicional y así poder garantizar alimentación, salud y seguridad.

La situación de emergencia y lucha por contar con los servicios básicos, marcó un antes y un después con respecto a la opinión de la sociedad con el uso de los SFVA como un sistema energético alternativo. El paradigma que se mantenía sobre que su uso era exclusivo de individuos o empresas amantes del medio ambiente, quedó completamente destruido después que se improvisaron SFVA para el bombeo de agua en algunas colonias de la periferia, quedó demostrada su fácil instalación y sobre todo su utilidad.

Por todo lo anterior, los tomadores de decisiones deben considerar la energía solar fotovoltaica como uno de los actores principales en los planes preventivos que se deben desarrollar a la brevedad.

Finalmente, esta investigación sugiere que se puede considerar la instalación de un SFVA cuya capacidad sea de 2kWp, esta potencia garantiza la conservación de alimentos, medicamentos y conexión inmediata después de un desastre natural.

En lo que respecta a la viabilidad técnica, existen ya estudios que sugieren los parámetros y configuraciones que se deben considerar para la instalación de un SFVA bajo las condiciones de viento que genera un huracán, sin embargo, queda como trabajo futuro la selección óptima del espacio de instalación en las viviendas considerando rachas de viento como las que genera un huracán categoría 5.

La viabilidad económica puede considerarse dentro de los programas sociales que se están implementando, mediante una cooperación gobierno-universidad-sociedad.

Y finalmente ya se expuso que es completamente aceptable ante la sociedad el uso de los SFVA, por tanto, la propuesta tiene viabilidad social.

Queda como trabajo futuro el estudio sobre la participación de la energía solar fotovoltaica como soporte en el sistema energético tradicional ante desastres naturales en otros sectores como los que se plantean en la tabla 1 (comercios, hotelería, etc.) pues como vimos cada sector tiene necesidades energéticas distintas.

Aun es muy pronto para hacer un análisis y una conclusión sobre los materiales en las construcciones y principalmente en los techos que soportaron los impactos del huracán, lo único que se tiene claro es que resistieron todas aquellas viviendas cuyo techo era de concreto.

Este trabajo deja la puerta abierta a una nueva investigación sobre el análisis de una configuración de montaje resistente modeladas en ambiente real con rachas de viento como las que maneja OTIS.

4. Referencias

- Acosta-Pazmiño, I. P., Rivera-Solorio, C. I., & Gijón-Rivera, M. (2021). Scaling-up the installation of hybrid solar collectors to reduce CO₂ emissions in a Mexican industrial sector from now to 2030. *Applied Energy*, 298, 117202. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117202>
- Becerra-Pérez, L. A., González-Díaz, R. R., & Villegas-Gutiérrez, A. C. (2021). La energía solar fotovoltaica, análisis costo beneficio de los proyectos en México. *RINDERESU*, 5(2), Article 2. <http://rinderesu.com/index.php/rinderesu/article/view/104>
- Bello, C., Vera, L. H., Busso, A. J., & Cadena, C. (2009). Proyecto de electrificación rural a través de sistemas fotovoltaicos autónomos en la provincia de Corrientes. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 13. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/98543>
- Castiella, J. H. (2022). Proyecto de electrificación rural mediante energía solar fotovoltaica. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente - AVERMA*, 1, Article 1.
- Esteban Solano. (2023). The Impact of Hurricane Otis on the Student Community of the School of Sociology, Mexico. *International Society for the Study of Vernacular Settlements*, 10(12), 729-751. <https://doi.org/10.61275/ISVSej-2023-10-12-50>
- Esteves, J. M. R. (s. f.). Los desastres recurrentes en México: El huracán Pauline y la tormenta Manuel en Acapulco, Guerrero. *Anuario Electrónico de Estudios en Comunicación Social «Disertaciones»*, 10(2), 133-152.
- Farghali, M., Osman, A. I., Chen, Z., Abdelhaleem, A., Ihara, I., Mohamed, I. M. A., Yap, P.-S., & Rooney, D. W. (2023). Social, environmental, and economic consequences of integrating renewable energies in the electricity sector: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(3), 1381-1418. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01587-1>
- Hernández, R. M., Mendoza, R. Á. H. de, & Llanusa, A. L. (2022). ESTUDIO DE CARGA DE VIENTO PARA ESTRUCTURAS SOPORTES DE PANELES SOLARES EN EDIFICACIONES BAJAS. *Revista Ciencia y Construcción*, 3(3), Article 3.
- Kushal, T. R. B., & Illindala, M. S. (2021). Decision Support Framework for Resilience-Oriented Cost-Effective Distributed Generation Expansion in Power Systems. *IEEE*

- Transactions on Industry Applications*, 57(2), 1246-1254.
<https://doi.org/10.1109/TIA.2020.3047595>
- Leitch, C. J., Ginger, J. D., & Holmes, J. D. (2016a). Wind loads on solar panels mounted parallel to pitched roofs, and acting on the underlying roof. *Wind and Structures*, 22(3), Article 3.
- Leitch, C. J., Ginger, J., & Holmes, J. (2016b). Wind loads on solar panels mounted parallel to pitched roofs, and acting on the underlying roof. *Wind and Structures*, 22, 307-328. <https://doi.org/10.12989/was.2016.22.3.307>
- Leyva, M. F. (2024). La solidaridad con los territorios devastados por Otis en Guerrero, 2023. *Revista Mexicana de Estudios de los Movimientos Sociales*, 8(1), Article 1. <https://revistamovimientos.mx/ojs/index.php/movimientos/article/view/386>
- Llanusa, A. L., Finalé, E. D. L., Parnás, V. B. E., & Ottieri, J. C. (2016). Estudio de coeficientes de presión en paneles solares frente a la acción del viento. *Revista Cubana de Ingeniería*, 7(3), Article 3.
- Mejía-López, M. P., Oca, E. R.-M. de, & Juantorena-Ugás, A. (2020). Energía renovable en traspatio: ¿Una alternativa en México? *Bioagrociencias*, 13(1), Article 1. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/BAC/article/view/3353>
- Rivas, M. (2018a). La respuesta al desastre y las organizaciones sin fines de lucro en Puerto Rico. *Revista de Administración Pública*, 49, 39-65.
- Rivas, M. (2018b). La respuesta al desastre y las organizaciones sin fines de lucro en Puerto Rico. *Revista de Administración Pública*, 49, 39-65.
- Rodríguez Gámez, M., Vázquez Pérez, A., Espino Ares, A. R., & Fernández . A, J. (2012). Impacto de los huracanes a la infraestructura eléctrica. *Ingeniería Energética*, 33(3), 172-183.
- Saltos, M., Velásquez, A., Aguirre, M., Ortíz, D., Villamarín, A., Haro, R., Saltos, M., Velásquez, A., Aguirre, M., Ortíz, D., Villamarín, A., & Haro, R. (2022). Planificación Óptima de Recursos Energéticos Distribuidos para Mejorar la Resiliencia de Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica frente a Desastres Naturales: Caso en Lahares Volcánicos. *Revista Técnica energía*, 18(2), 13-21. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v18.n2.2022.488>
- Santoyo-Castelazo, E., Solano-Olivares, K., Martínez, E., García, E. O., & Santoyo, E. (2021). Life cycle assessment for a grid-connected multi-crystalline silicon photovoltaic system of 3 kWp: A case study for Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 316, 128314. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128314>

Comunicación alineada con los objetivos de desarrollo sostenible

