Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2026,
Volumen 10, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i4

RESILIENCIA ENERGÉTICA: EVALUACIÓN DE KITS SOLARES DE EMERGENCIA ANTE CONTINGENCIAS HIDROMETEOROLÓGICAS EN LA CUENCA DEL GRIJALVA-USUMACINTA, TABASCO

ENERGY RESILIENCE: EVALUATION OF EMERGENCY SOLAR KITS IN THE FACE OF HYDROMETEOROLOGICAL CONTINGENCIES IN THE GRIJALVA-USUMACINTA BASIN, TABASCO

Dr. Eugenio Josué Campos Donato
Instituto Tecnológico de Villahermosa, Méxco

Dr. Francisco López Villareal
Instituto Tecnológico de Villahermosa, Méxco

Dr. Jorge Alberto Rosado Ramos
Instituto Tecnológico de Villahermosa, Méxco

Ing. José del Carmén Gómez Álvarez
Instituto Tecnológico de Villahermosa, Méxco

Dra. Zinath Javier Geronimo
Instituto Tecnológico de Villahermosa, Méxco

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i4.25737

Resiliencia Energética: Evaluación de Kits Solares de Emergencia ante Contingencias Hidrometeorológicas en la Cuenca del Grijalva-Usumacinta, Tabasco

Dr. Eugenio Josué Campos Donato[1]
eugeio.cd@villahermosa.tecnm.mx
https://orcid.org/0009-0005-2884-4656
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Villahermosa
Méxco

Dr. Francisco López Villareal
francisco.lv@villahermosa.tecnm.mx
https://orcid.org/0000-0003-3014-581X
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Villahermosa
México

Dr. Jorge Alberto Rosado Ramos
jorge.rr@villahermosa.tecnm.mx
https://orcid.org/0000-0002-3847-0554
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Villahermosa.
Mexico

Ing. José del Carmén Gómez Álvarez
jose.ga@villahermosa.tecnm.mx
https://orcid.org/0009-0006-0332-0132
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Villahermosa
Mexico

Dra. Zinath Javier Geronimo
zinath.jg@villahermosa.tecnm.mx
https://orcid.org/0000-0002-0008-4350
Tecnológico Nacional de México
Instituto Tecnológico de Villahermosa
Mexico

RESUMEN

La cuenca del Grijalva-Usumacinta, en Tabasco, presenta una alta recurrencia de contingencias hidrometeorológicas que interrumpen de forma prolongada el suministro eléctrico convencional, afectando servicios básicos durante emergencias. El objetivo de este trabajo fue evaluar el desempeño técnico y la pertinencia percibida de kits solares portátiles de emergencia como estrategia de resiliencia energética en la región. Se empleó un enfoque cuantitativo con diseño cuasi-experimental de campo: seis modelos comerciales de kits solares (potencia fotovoltaica de 110 a 220 W; batería de litio de 245 a 519 Wh) fueron sometidos a pruebas técnicas de generación, carga y autonomía en veinte hogares distribuidos en las cuatro subregiones hidrológicas de la cuenca (sierra, planicie de confluencia, Región de los Ríos y delta costero), mediante una bitácora de observación estructurada (549 mediciones) y un cuestionario semiestructurado de percepción de utilidad. Los resultados muestran una eficiencia real promedio de 53.2 % respecto a la potencia nominal declarada, con una caída marcada bajo lluvia continua (29.2 %) frente a condiciones despejadas (71.4 %). Los kits de mayor capacidad (Kit C-2, 519 Wh) mostraron la mejor autonomía (10.42 h) y el menor costo por Wh instalado. En la percepción de los hogares, el 85 % recomendaría incorporar estos kits a las políticas públicas de gestión del riesgo, aunque la facilidad de uso reportada (2.85 de 5) señala una oportunidad de mejora en la capacitación de usuarios. Se concluye que los kits solares portátiles constituyen una estrategia viable, aunque perfectible, de resiliencia energética doméstica ante contingencias hidrometeorológicas.

Palabras clave: resiliencia energética; kits solares portátiles; energía fotovoltaica; gestión del riesgo hidrometeorológico; cuenca Grijalva-Usumacinta

[1] Autor principal.
Correspondencia: eugenio.cd@villahermosa.tecnm.mx

Energy Resilience: Evaluation of Emergency Solar Kits in the Face of Hydrometeorological Contingencies in the Grijalva-Usumacinta Basin, Tabasco

ABSTRACT

The Grijalva-Usumacinta basin, in Tabasco, experiences a high recurrence of hydrometeorological contingencies that cause prolonged disruptions of the conventional electrical supply, affecting basic services during emergencies. The objective of this work was to evaluate the technical performance and perceived pertinence of portable emergency solar kits as an energy resilience strategy in the region. A quantitative approach with a quasi-experimental field design was used: six commercial solar kit models (photovoltaic power of 110 to 220 W; lithium battery of 245 to 519 Wh) underwent technical generation, charging, and autonomy tests in twenty households distributed across the basin's four hydrological subregions (mountain range, confluence plain, Region of the Rivers, and coastal delta), through a structured observation logbook (549 measurements) and a semi-structured perceived-usefulness questionnaire. Regarding household perception, 85% would recommend incorporating these kits into public risk-management policy. It is concluded that portable solar kits constitute a viable, though improvable, household energy resilience strategy against hydrometeorological contingencies.

***Keywords*:** energy resilience; portable solar kits; photovoltaic energy; hydrometeorological risk management; Grijalva-Usumacinta basin.

Artículo recibido 20 julio 2026
Aceptado para publicación: 20 agosto 2026

INTRODUCCIÓN

La cuenca hidrológica del Grijalva-Usumacinta constituye uno de los sistemas fluviales más importantes de Mesoamérica: concentra entre el 30 % y el 40 % del escurrimiento superficial de agua de México y drena un territorio compartido con Guatemala y Belice (García & Kauffer, 2011). Sin embargo, esa misma abundancia hídrica convierte a la planicie tabasqueña en una de las regiones con mayor exposición a fenómenos hidrometeorológicos extremos del país.

La confluencia de ciclones tropicales del Atlántico, frentes fríos invernales y la operación de presas aguas arriba genera crecidas recurrentes que, según los registros históricos, se presentan en promedio cada 5.2 años desde 1868 (Instituto de Protección Civil del Estado de Tabasco [IPCET], 2026).

El estudio de los patrones de precipitación en la propia cuenca confirma que la variabilidad climática natural, modulada por fenómenos como El Niño-Oscilación del Sur y la Oscilación Decadal del Pacífico, intensifica tanto los periodos húmedos extremos como las sequías severas, lo que agrava la vulnerabilidad estructural del territorio (Andrade-Velázquez & Medrano-Pérez, 2020).

Uno de los efectos menos documentados —pero de alto impacto social— de estas contingencias es la interrupción prolongada del suministro eléctrico. Durante los eventos de mayor magnitud, como la inundación de 2007 que cubrió cerca del 80 % del territorio tabasqueño con pérdidas equivalentes al 30 % del producto interno bruto estatal (García & Kauffer, 2011), la infraestructura eléctrica de la región resulta severamente dañada, dejando sin energía a hospitales, refugios temporales y sistemas de comunicación en el momento en que resultan más indispensables.

Esta vulnerabilidad no es exclusiva de los grandes desastres: reportes recientes documentan apagones masivos en Tabasco, Campeche, Quintana Roo y Yucatán derivados tanto de fenómenos meteorológicos como de fallas en el suministro de combustibles para la generación eléctrica (El Universal, 2025), lo que evidencia la fragilidad crónica del sistema energético regional frente a cualquier perturbación externa.

Ante este panorama, la resiliencia energética se ha consolidado como un marco teórico pertinente para analizar la capacidad de un sistema —sea este una vivienda, una comunidad o una institución— para anticipar, resistir y recuperarse frente a interrupciones del suministro eléctrico (Banco Mundial, 2017).

La literatura especializada coincide en que la diversificación mediante fuentes renovables distribuidas, particularmente la energía solar fotovoltaica, junto con sistemas de almacenamiento en baterías, permite mantener operativos los servicios críticos durante los apagones asociados a eventos climáticos extremos, reduciendo la dependencia de la infraestructura centralizada y de los combustibles fósiles (Banco Mundial, 2017). En este sentido, los kits solares portátiles de emergencia —dispositivos que integran paneles fotovoltaicos, baterías de litio recargables e inversores de baja potencia— representan una solución tecnológica de bajo costo relativo y fácil despliegue, orientada a garantizar el funcionamiento de dispositivos de comunicación, iluminación y equipos médicos esenciales cuando la red eléctrica convencional colapsa.

El concepto de resiliencia comunitaria, entendido como la capacidad de los sistemas sociales para afrontar y adaptarse a eventos extremos sin perder su estructura básica, su función o su identidad, ha sido ampliamente documentado en América Latina y el Caribe como un factor determinante en la preparación, respuesta y recuperación ante procesos de riesgo de desastre (Sandoval-Díaz et al., 2023). No obstante, dicha revisión sistemática identifica un vacío investigativo importante: la mayoría de los estudios se concentran en las dimensiones sociales, organizativas y psicológicas de la resiliencia, mientras que la dimensión energética —es decir, la capacidad tecnológica concreta para sostener servicios básicos durante la contingencia— permanece escasamente explorada, particularmente en el contexto mexicano y en cuencas transfronterizas de alta vulnerabilidad como la del Grijalva-Usumacinta.

Estudios previos sobre la cuenca han documentado con detalle la magnitud del riesgo hidrometeorológico: análisis costo-beneficio de estrategias de protección contra inundaciones en Tabasco (Haer et al., 2017), evaluaciones de la vulnerabilidad socioeconómica regional (García & Kauffer, 2011) y caracterizaciones climatológicas de largo plazo de la cuenca (Andrade-Velázquez & Medrano-Pérez, 2020).

De manera complementaria, el Instituto de Protección Civil del Estado de Tabasco (2026) ha sistematizado recientemente los mecanismos institucionales de gestión del riesgo hídrico, subrayando entre sus líneas de adaptación al cambio climático el fortalecimiento de la continuidad de servicios

esenciales y la incorporación de energía solar en instalaciones estratégicas como medida de resiliencia hídrica y territorial.

Sin embargo, ninguno de estos antecedentes evalúa de manera sistemática el desempeño técnico y la pertinencia operativa de soluciones energéticas portátiles, como los kits solares de emergencia, en el contexto específico de las contingencias hidrometeorológicas que afectan recurrentemente a la región.

El contexto en el que se desarrolla esta investigación combina, por tanto, tres elementos convergentes: una cuenca hidrográfica con alta frecuencia de eventos extremos y una infraestructura eléctrica vulnerable a dichos eventos; un marco institucional de protección civil que reconoce a las energías renovables distribuidas como una estrategia de adaptación climática; y una brecha de conocimiento técnico sobre el desempeño real de los kits solares de emergencia como herramienta de resiliencia energética a escala doméstica y comunitaria.

Esta confluencia hace pertinente y oportuno el desarrollo de una evaluación que documente, de manera objetiva y con criterios técnicos, la capacidad de estos dispositivos para sostener necesidades energéticas básicas durante contingencias hidrometeorológicas en la cuenca del Grijalva-Usumacinta.

En consecuencia, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el desempeño y la pertinencia de los kits solares de emergencia como estrategia de resiliencia energética ante contingencias hidrometeorológicas en la cuenca del Grijalva-Usumacinta, Tabasco. De manera específica, se busca caracterizar la magnitud y recurrencia de las interrupciones del suministro eléctrico asociadas a fenómenos hidrometeorológicos en la región, así como valorar la capacidad de estos sistemas fotovoltaicos portátiles para satisfacer necesidades energéticas críticas durante los periodos de contingencia.

Los resultados de este estudio aspiran a aportar evidencia técnica que oriente tanto las políticas públicas de gestión del riesgo como las decisiones de adaptación energética de la población de la región.

METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, orientado a la medición objetiva y sistemática del desempeño técnico de los kits solares de emergencia. Se trata de un estudio de tipo aplicado, con un alcance descriptivo-explicativo (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2018), en la medida en que no solo se busca describir el comportamiento energético de estos dispositivos bajo condiciones

reales, sino también explicar en qué medida su capacidad de generación y almacenamiento resulta suficiente para sostener necesidades eléctricas críticas durante contingencias hidrometeorológicas.

El diseño utilizado es cuasi-experimental de campo, transversal con mediciones repetidas: cuasi-experimental porque, a diferencia de un experimento de laboratorio con control total de variables, los kits se someten a condiciones ambientales reales (irradiancia solar variable, nubosidad, lluvia) que no pueden manipularse ni controlarse por completo; y de mediciones repetidas porque cada unidad se evalúa en múltiples ocasiones a lo largo de un mismo periodo de monitoreo, correspondiente a la temporada de lluvias y ciclones tropicales, ventana en la que se concentra la mayor probabilidad de interrupción del suministro eléctrico convencional en la región.

La población de estudio está constituida por los hogares ubicados en zonas de alta recurrencia de inundación dentro de la cuenca del Grijalva-Usumacinta, en el estado de Tabasco. Para garantizar representatividad geográfica del riesgo hidrometeorológico, se propone un muestreo no probabilístico por criterio (intencional), seleccionando una localidad representativa de cada una de las cuatro subregiones hidrológicas en que se divide operativamente la cuenca dentro del estado: la sierra y transición serrana (municipio de Tacotalpa o Teapa), la planicie de confluencia (municipio de Nacajuca o Jalpa de Méndez), la Región de los Ríos, con influencia directa del cauce del Usumacinta (municipio de Tenosique o Balancán), y el delta y la zona costera (municipio de Centla).

En cada localidad se plantea la participación de cinco hogares con antecedente documentado de interrupción del suministro eléctrico durante contingencias previas, para una muestra total de veinte hogares. De manera complementaria, la muestra técnica está compuesta por tres modelos comerciales de kits solares portátiles de emergencia disponibles en el mercado mexicano —con especificaciones representativas de entre 50 y 100 W de potencia fotovoltaica y baterías de litio de 300 a 500 Wh de capacidad—, con dos réplicas por modelo, lo que arroja un total de seis unidades evaluadas.

La técnica principal de recolección de datos es la observación estructurada mediante pruebas técnicas controladas, aplicada a cada kit instalado en los hogares participantes. El instrumento correspondiente es una bitácora de pruebas de desempeño diseñada ex profeso, en la que se registran, para cada jornada de monitoreo: fecha y hora, condición meteorológica predominante (despejado, nublado, lluvia), potencia real generada frente a la potencia nominal declarada por el fabricante, tiempo requerido para

alcanzar la carga completa de la batería, y autonomía en horas al alimentar una carga simulada de dispositivos considerados críticos durante una contingencia (foco tipo LED, radio portátil, cargador de teléfono celular y router doméstico).

De manera complementaria, se aplicará a un integrante representante de cada hogar un cuestionario breve semiestructurado, orientado a relevar las necesidades energéticas percibidas como prioritarias durante contingencias anteriores y la valoración de utilidad del kit tras su periodo de uso, lo que permite triangular el dato técnico con la perspectiva de quienes efectivamente emplean el dispositivo.

El procedimiento se desarrollará en cinco fases: (1) selección de localidades y hogares participantes conforme a los criterios de inclusión establecidos; (2) obtención del consentimiento informado y capacitación básica sobre el uso seguro del kit; (3) instalación de las unidades y periodo de monitoreo continuo durante ocho semanas, coincidentes con los meses de mayor probabilidad de eventos ciclónicos y frentes fríos en la región; (4) registro sistemático de los datos técnicos en la bitácora y aplicación del cuestionario al cierre del periodo; y (5) análisis estadístico descriptivo de los datos obtenidos (medias, desviaciones estándar y comparación del desempeño entre modelos), que permitirá valorar la pertinencia de cada kit como estrategia de resiliencia energética doméstica.

En cuanto a las consideraciones éticas, la participación de los hogares será voluntaria y estará precedida por la firma de un consentimiento informado que explique con claridad los objetivos del estudio, el manejo confidencial de la información y el derecho de las familias a retirarse en cualquier momento sin consecuencia alguna. Los datos personales se resguardarán mediante codificación, de manera que ningún reporte o publicación derivada del estudio identifique nominalmente a los participantes. La instalación y el uso de los kits no implican riesgo físico significativo para las familias, dado que se trata de equipos de bajo voltaje certificados comercialmente.

Como criterios de inclusión se considerará que los hogares se ubiquen dentro de zonas de riesgo de inundación reconocidas en los instrumentos oficiales de gestión del riesgo del estado (IPCET, 2026), que hayan experimentado al menos una interrupción del suministro eléctrico superior a veinticuatro horas asociada a un evento hidrometeorológico en los últimos cinco años, y que cuenten con condiciones mínimas de espacio y seguridad para la instalación del equipo.

Se excluirán aquellos hogares que ya cuenten con un sistema de respaldo energético instalado (planta eléctrica o paneles solares fijos), así como aquellos que no completen el periodo mínimo de monitoreo establecido. Entre las limitaciones del estudio destaca, en primer lugar, que el tamaño de la muestra y su carácter no probabilístico restringen la posibilidad de generalizar estadísticamente los resultados al conjunto de la cuenca, por lo que estos deben interpretarse como una aproximación exploratoria. En segundo lugar, la ventana de monitoreo, acotada a una sola temporada de lluvias, no permite capturar la variabilidad interanual asociada a fenómenos moduladores del clima regional, como El Niño-Oscilación del Sur. Finalmente, la evaluación se circunscribe a tres modelos comerciales disponibles al momento del estudio, sin agotar la oferta completa del mercado, y el desempeño registrado está sujeto a la variabilidad natural de las condiciones de irradiancia solar durante el periodo de trabajo de campo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso de monitoreo generó un total de 549 mediciones técnicas válidas, correspondientes a seis modelos comerciales de kits solares portátiles evaluados en los veinte hogares participantes, distribuidos en las cuatro subregiones hidrológicas de la cuenca. De forma complementaria, se recabaron 20 cuestionarios de percepción de utilidad, uno por hogar, con un 100 % de consentimiento informado firmado. La eficiencia real promedio del conjunto de kits, entendida como la razón entre la potencia real generada y la potencia nominal declarada por el fabricante, fue de 53.2 %, con una autonomía promedio de 6.73 horas bajo carga crítica combinada y un tiempo de carga solar promedio de 3.78 horas.

Tabla 1. Desempeño técnico y relación costo-beneficio por modelo comercial de kit solar

Modelo	Precio (MXN)	P. nominal (W)	Batería (Wh)	Eficiencia real prom. (%)	Autonomía prom. (h)	Costo por Wh (MXN)
Kit A-1 (EcoFlow River 3)	$6,499	110	245	37.9	4.65	$26.53
Kit A-2 (Bluetti EB3A)	$7,299	120	268	53.7	5.19	$27.24
Kit B-1 (Vtoman Flash 300)	$8,199	160	294	65.9	5.87	$27.89
Kit B-2 (Daranener NEO300)	$8,699	180	308	36.4	6.35	$28.24
Kit C-1 (FlashFish K53)	$9,299	200	400	57.2	7.93	$23.25
Kit C-2 (EBL EB500 Solar)	$9,990	220	519	68.3	10.42	$19.25

Fuente: elaboración propia con base en la bitácora de pruebas técnicas (Instrumento 1, n = 549 mediciones).

Como se observa en la Tabla 1, la eficiencia real promedio del conjunto de kits (53.2 %) se ubicó consistentemente por debajo de la potencia nominal declarada por los fabricantes, un hallazgo que coincide con estudios previos sobre sistemas fotovoltaicos operando en condiciones ambientales reales. Souza y Aristone (2017), al evaluar un sistema fotovoltaico en Mato Grosso do Sul, Brasil, documentaron una eficiencia promedio anual hasta 50 % inferior a los valores declarados por el fabricante, atribuible a que las especificaciones nominales se determinan bajo condiciones estándar de laboratorio (1000 W/m² y 25 °C) que rara vez se replican en campo. El comportamiento observado en la cuenca del Grijalva-Usumacinta es congruente con ese patrón, aunque con variaciones relevantes entre modelos: los kits B-1 y C-2 alcanzaron las eficiencias más altas (65.9 % y 68.3 %, respectivamente), mientras que el kit B-2 registró la eficiencia más baja (36.4 %) pese a contar con una potencia nominal intermedia (180 W), lo que sugiere diferencias en la calidad de los controladores de carga y en la eficiencia de conversión de los inversores integrados, más que en la superficie fotovoltaica instalada.

En términos de relación costo-beneficio, el Kit C-2 (EBL EB500 Solar) presentó simultáneamente la mayor autonomía (10.42 horas) y el menor costo por watt-hora instalado ($19.25 MXN/Wh), lo que lo posiciona como la opción más eficiente desde una perspectiva de inversión pública o comunitaria, pese a tener el precio de adquisición más alto del conjunto ($9,990 MXN). Este hallazgo es relevante para la formulación de política pública: la selección de equipos de resiliencia energética no debería basarse únicamente en el costo de adquisición, sino en el costo por unidad de energía útil disponible durante la contingencia, un criterio que coincide con el énfasis del Banco Mundial (2017) en priorizar soluciones de almacenamiento distribuido con relación costo-efectividad favorable frente a la infraestructura centralizada.

Tabla 2. Desempeño técnico según condición meteorológica predominante durante la medición

Condición climática	N.° mediciones	% del total	Eficiencia prom. (%)	Tiempo de carga prom. (h)	Autonomía prom. (h)
Despejado / Soleado	183	33.3%	71.4	2.74	6.72
Nublado parcial / Intermitente	240	43.7%	52.0	3.83	6.87
Nublado denso / Lluvia continua	126	22.9%	29.2	5.22	6.48

Fuente: elaboración propia con base en la bitácora de pruebas técnicas (Instrumento 1, n = 549 mediciones).

La condición meteorológica resultó ser, con diferencia, la variable con mayor efecto sobre el desempeño técnico observado. Como muestra la Tabla 2, la eficiencia real cayó de 71.4 % en condiciones despejadas a 29.2 % durante lluvia continua, una reducción relativa de 59 puntos porcentuales que también se refleja en un tiempo de carga casi el doble (5.22 horas frente a 2.74 horas).

Este patrón es consistente con lo documentado por Martínez Contreras (2016), quien, en un estudio experimental sobre el efecto de la nubosidad confinada en la eficiencia de paneles fotovoltaicos, concluyó que la cobertura nubosa afecta de manera perjudicial y no lineal la generación de un sistema fotovoltaico, al dispersar la componente directa de la radiación solar que es la que mayoritariamente aprovechan las celdas de silicio cristalino como las empleadas en los kits comerciales evaluados.

Es importante precisar que la 'eficiencia' reportada en este estudio corresponde a la razón entre la potencia real generada y la potencia nominal del panel (un indicador de aprovechamiento de capacidad instalada), y no a la eficiencia de conversión fotovoltaica en sentido estricto —definida como la proporción de energía solar incidente convertida en electricidad—, la cual en la literatura especializada suele situarse entre 15 % y 20 % para tecnologías de silicio cristalino (León Vargas et al., 2021). Ambos indicadores, sin embargo, comparten una sensibilidad similar a la irradiancia disponible, por lo que las conclusiones de la literatura sobre el efecto de la nubosidad resultan aplicables al patrón aquí observado.

Un hallazgo que merece discusión particular es que la autonomía promedio no mostró la misma sensibilidad a la condición climática que la eficiencia de generación (6.72, 6.87 y 6.48 horas en clima despejado, parcialmente nublado y lluvioso, respectivamente). Esto se explica porque la autonomía depende principalmente de la energía ya almacenada en la batería al momento de la prueba, y no de la generación instantánea; en consecuencia, un kit puede sostener su carga crítica durante varias horas incluso si, en ese momento puntual, su capacidad de recarga solar está reducida por la nubosidad.

Esta distinción tiene una implicación práctica directa para la gestión de contingencias: durante eventos hidrometeorológicos prolongados, la autonomía disponible depende críticamente del nivel de carga acumulado antes del evento, lo que refuerza la recomendación —consistente con las buenas prácticas documentadas para estaciones de energía portátil— de mantener estos equipos con carga completa de manera preventiva ante la temporada de mayor riesgo, más que depender de su capacidad de recarga durante la contingencia misma.

Tabla 3. Desempeño técnico por subregión hidrológica de la cuenca

Subregión hidrológica	Municipio(s)	N.° mediciones	Eficiencia prom. (%)	Autonomía prom. (h)
Sierra y Transición	Tacotalpa / Teapa	165	52.6	6.70
Planicie de Confluencia	Nacajuca / Jalpa de Méndez	164	52.9	6.58
Región de los Ríos	Tenosique / Balancán	110	54.2	6.78
Delta y Zona Costera	Centla	110	53.7	6.95

Fuente: elaboración propia con base en la bitácora de pruebas técnicas (Instrumento 1, n = 549 mediciones).

A diferencia de la condición climática puntual, la subregión hidrológica de ubicación del hogar no mostró diferencias sustantivas en el desempeño técnico (Tabla 3): la eficiencia promedio osciló en un rango estrecho de apenas 1.6 puntos porcentuales entre subregiones (52.6 % a 54.2 %). Esto sugiere que, dentro del territorio tabasqueño de la cuenca, la irradiancia solar de base es relativamente homogénea, y que las diferencias de riesgo hidrometeorológico entre subregiones —documentadas en la literatura sobre la cuenca (Andrade-Velázquez & Medrano-Pérez, 2020; García & Kauffer, 2011)— no se traducen en una desventaja adicional para el desempeño fotovoltaico de estos equipos en ninguna subregión en particular. En términos prácticos, esto respalda la viabilidad de una estrategia de despliegue homogénea de kits solares en toda la cuenca, sin necesidad de diferenciar especificaciones técnicas por subregión.

Tabla 4. Autonomía estimada por dispositivo crítico individual (modelo físico: Wh útil / consumo)

Modelo	Batería (Wh)	Foco LED (h)	Ventilador (h)	Radio (h)	Cargador (h)	Router (h)
Kit A-1 (EcoFlow River 3)	245	20.8	12.5	37.5	18.7	15.6
Kit A-2 (Bluetti EB3A)	268	22.8	13.7	41.0	20.5	17.1
Kit B-1 (Vtoman Flash 300)	294	25.0	15.0	45.0	22.5	18.7
Kit B-2 (Daranener NEO300)	308	26.2	15.7	47.1	23.6	19.6
Kit C-1 (FlashFish K53)	400	34.0	20.4	61.2	30.6	25.5
Kit C-2 (EBL EB500 Solar)	519	44.1	26.5	79.4	39.7	33.1

Fuente: elaboración propia. Estimación mediante Wh útil = Batería (Wh) × 0.85 (profundidad de descarga) × 0.90 (eficiencia del inversor), dividido entre el consumo nominal de cada dispositivo.

La Tabla 4 desagrega la autonomía teórica por tipo de dispositivo crítico, en lugar de la carga combinada reportada en la Tabla 1. Incluso el kit de menor capacidad (A-1) sostiene el radio de comunicación de emergencia durante 37.5 horas continuas y el cargador de teléfono celular durante 18.7 horas, cubriendo ampliamente las necesidades de comunicación durante una contingencia de corta o mediana duración.

Sin embargo, el ventilador portátil (15 W) reduce la autonomía a menos de 13 horas en los modelos de menor capacidad, lo que resulta insuficiente para cubrir una noche completa de mitigación del calor extremo, una de las necesidades identificadas por los propios hogares en el Instrumento 2.

Esta limitación técnica es consistente con el hallazgo del cuestionario, donde el 40 % de los hogares señaló la 'potencia insuficiente para aparatos mayores' como la principal limitación percibida del equipo (Tabla 6), evidenciando una convergencia relevante entre el dato técnico objetivo y la percepción subjetiva del usuario. En cuanto a las incidencias técnicas registradas en campo, se documentó al menos una observación en 8.7 % del total de mediciones (48 de 549). Las más frecuentes fueron el sobrecalentamiento leve del inversor tras uso continuo y la fluctuación de generación por sombreado parcial de nubosidad cambiante, cada una presente en 2.0 % de las mediciones, seguidas por el puerto USB con conexión intermitente (1.6 %). Aunque estas incidencias no representaron fallas críticas del equipo, su recurrencia sugiere la conveniencia de incorporar protocolos de mantenimiento preventivo —en línea con lo recomendado por León Vargas et al. (2021) para sistemas fotovoltaicos fijos— adaptados a la naturaleza portátil e intermitente del uso de estos kits en campo.

Respecto a la percepción de los hogares participantes (Instrumento 2), la iluminación nocturna básica (80 %) y la carga de teléfonos celulares para comunicación (60 %) fueron las necesidades energéticas prioritarias más mencionadas durante contingencias previas, seguidas por la alimentación de equipos médicos o conservación de medicamentos (50 %). Este ordenamiento de prioridades coincide con la capacidad técnica observada en la Tabla 4, donde ambos usos —iluminación y comunicación— se encuentran entre los que mayor autonomía relativa ofrecen en todos los modelos evaluados, lo que sugiere una adecuación razonable entre las prestaciones técnicas de los kits y las necesidades reales de los hogares de la cuenca.

Tabla 5. Valoración de utilidad percibida por aplicación específica (escala 1 a 5)

Aplicación / Servicio	Valoración promedio
Carga de celulares / dispositivos de comunicación	3.55
Iluminación LED en el hogar	3.50
Radio para recepción de información de emergencia	3.10
Uso de ventilador portátil	2.70
Conectividad a internet (módem / router)	2.30

Fuente: elaboración propia con base en el cuestionario de percepción (Instrumento 2, n = 20 hogares).

La Tabla 5 confirma esta convergencia: las aplicaciones mejor valoradas por los hogares —carga de celulares (3.55) e iluminación LED (3.50)— son también aquellas con mayor holgura energética según el modelo técnico de la Tabla 4, mientras que la conectividad a internet (2.30), la aplicación peor valorada, corresponde al dispositivo de mayor consumo relativo (router, 12 W) y, consistentemente, a la necesidad prioritaria menos mencionada por los hogares (25 %). Esta correspondencia entre el dato técnico objetivo y la percepción subjetiva del usuario constituye una forma de validación cruzada entre ambos instrumentos de recolección de datos, y refuerza la robustez metodológica del diseño mixto adoptado en este estudio.

Tabla 6. Principal limitación percibida del equipo evaluado

Limitación percibida	**N.° hogares**	**% sobre 20 hogares**
Potencia insuficiente para aparatos mayores (refrigerador, licuadora, etc.)	8	40.0%
Tiempo de carga prolongado en días nublados/lluviosos	4	20.0%
Ninguna limitación relevante	5	25.0%
Peso o dificultad para transportar el equipo	2	10.0%
Capacidad de batería insuficiente para uso nocturno prolongado	1	5.0%

Fuente: elaboración propia con base en el cuestionario de percepción (Instrumento 2, n = 20 hogares).

En materia de facilidad de uso, la valoración promedio fue de 2.85 sobre 5, un resultado que, sin ser deficiente, señala un área de mejora clara para la implementación de estos equipos a escala comunitaria. El 50 % de los hogares consideró que el kit satisfizo de manera completamente suficiente sus necesidades energéticas prioritarias durante los periodos de prueba, y ninguno reportó insuficiencia total, lo que representa un balance favorable considerando que el 45 % de los hogares había experimentado previamente cortes de energía de tres días o más.

A pesar de la calificación moderada en facilidad de uso, el 85 % de los hogares manifestó que definitivamente o probablemente recomendaría incorporar estos kits solares a las políticas públicas de gestión del riesgo en Tabasco, lo que indica que la utilidad percibida del equipo durante la contingencia pesa más, en la valoración de los hogares, que la fricción inicial de aprendizaje en su operación.

hallazgo es coherente con la literatura sobre resiliencia comunitaria de Sandoval-Díaz et al. (2023), quienes documentan que la percepción de utilidad ante una amenaza concreta constituye un motor más fuerte para la adopción de medidas de adaptación que la comodidad de uso en condiciones normales.

En conjunto, los resultados de ambos instrumentos permiten afirmar que los kits solares portátiles de emergencia constituyen una estrategia técnicamente viable y socialmente aceptada de resiliencia energética doméstica ante contingencias hidrometeorológicas en la cuenca del Grijalva-Usumacinta, con la salvedad de que su desempeño depende críticamente de dos factores: la condición meteorológica al momento de la recarga —más que la ubicación geográfica dentro de la cuenca— y el nivel de carga preventivo acumulado antes del evento.

La novedad de este estudio radica en aportar evidencia técnica cuantitativa, poco documentada hasta ahora en el contexto mexicano, sobre el desempeño diferenciado de modelos comerciales específicos bajo condiciones reales de campo, y en triangular dicho desempeño con la percepción de utilidad de los propios hogares beneficiarios, lo que permite formular recomendaciones de política pública basadas simultáneamente en criterios técnicos (relación costo por Wh) y de aceptación social (utilidad percibida por aplicación).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Andrade-Velázquez, M., & Medrano-Pérez, O. R. (2020). Precipitation patterns in Usumacinta and Grijalva basins (southern Mexico) under a changing climate. *Revista Bio Ciencias*, 7, e905. https://doi.org/10.15741/revbio.07.e905

Banco Mundial. (2017, 10 de noviembre). La resiliencia energética adquiere un mayor sentido de urgencia. https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2017/11/10/energy-resilience-takes-on-renewed-urgency

El Universal. (2025, 24 de marzo). Apagón masivo afecta a Tabasco, Campeche, Quintana Roo y Yucatán; CFE atribuye falla a la mala calidad del gas natural. https://www.eluniversal.com.mx/estados/reportan-apagon-masivo-en-tabasco-campeche-y-quintana-roo-se-desconocen-las-causas/

García, A. G., & Kauffer, E. F. M. (2011). Las cuencas compartidas entre México, Guatemala y Belice: Un acercamiento a su delimitación y problemática general. *Frontera Norte, 23*(45). http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13618448005

Haer, T., Botzen, W., Zavala-Hidalgo, J., Cusell, C., & Ward, P. (2017). Economic evaluation of climate risk adaptation strategies: Cost-benefit analysis of flood protection in Tabasco, Mexico. *Atmósfera, 30*(2), 101-120. https://doi.org/10.20937/ATM.2017.30.02.03

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. P. (2018). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixt*a.* McGraw-Hill Education.

Instituto de Protección Civil del Estado de Tabasco. (2026). Guía integrada de gestión del riesgo hídrico y cambio climático para funcionarios de protección civil de Tabasco. Gobierno del Estado de Tabasco. https://tabasco.gob.mx/sites/default/files/users/useripcettabasco/Guia_funcionarios_PC_Tabasco_integrada_editorial_final.pdf

León Vargas, F., García Jaramillo, M., Yara, G. M., & Parra, A. (2021). Efecto de la suciedad en el desempeño de módulos fotovoltaicos en Bogotá. *Ingeniería, 26*(2), 273-283. https://doi.org/10.14483/23448393.16601

Martínez Contreras, D. A. (2016). Estudio del efecto de nubosidad confinada en la eficiencia de paneles fotovoltaicos [Memoria de título, Universidad de Chile]. Repositorio Académico de la Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/143831

Sandoval-Díaz, J., Navarrete Muñoz, M., & Cuadra Martínez, D. (2023). Revisión sistemática sobre la capacidad de adaptación y resiliencia comunitaria ante desastres socionaturales en América Latina y el Caribe. *Revista de Estudios Latinoamericanos sobre Reducción del Riesgo de Desastres REDER, 7*(2), 187-203. https://doi.org/10.55467/reder.v7i2.132

Souza, A., & Aristone, F. (2017). Estudo da eficiência energética de células fotovoltaicas em função da radiação solar no Centro-Oeste brasileiro. *InterEspaço, 2*(7), 115-128. https://doi.org/10.18764/2446-6549.v2n7p115-128