

Entendiendo Solar+Almacenamiento

Respuestas a las preguntas más frecuentes
sobre la energía solar fotovoltaica y el
almacenamiento en baterías



CleanEnergyGroup

Acerca de este informe

Clean Energy Group produjo *Comprendiendo la energía solar+almacenamiento* para proporcionar información y orientación para abordar algunas de las preguntas más frecuentes sobre la combinación de sistemas solares fotovoltaicos con tecnologías de almacenamiento en baterías (solar+almacenamiento). Los temas de esta guía incluyen los factores a tener en cuenta al diseñar un sistema de energía solar+almacenamiento, dimensionar un sistema de almacenamiento en baterías, consideraciones ambientales y de seguridad, y cómo valorar y financiar la tecnología de energía solar+almacenamiento. La guía está organizada en torno a 12 preguntas temáticas. Estas preguntas y los temas discutidos en cada sección fueron informados por y desarrollados para organizaciones comunitarias. La guía se elaboró en el marco del Proyecto de Resiliencia Energética del Clean Energy Group (www.resilient-power.org). El Proyecto de Resiliencia Energética trabaja para acelerar el despliegue equitativo de tecnologías de energía solar+almacenamiento en comunidades históricamente marginadas y desatendidas a través de la asistencia técnica, el conocimiento y el desarrollo de capacidades, el avance de políticas y programas habilitantes y la amplificación de las voces de la comunidad. Esta versión es una versión actualizada y mejorada de la guía original, que se preparó y publicó en octubre de 2020.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Mayra Cruz de Catalyst Miami, Logan Atkinson Burke de Alliance for Affordable Energy, Shelley Robbins de Upstate Forever, Chelsea Barnes de Appalachian Voices, Timna Zemel y Chris Keast de Simpliphi Power, Will Heegaard de Footprint Project, Geoff Oxnam de American Microgrid Solutions, Laurie Mazur de Island Press y Meghan Monahan, Samantha Donalds, Todd Olinsky-Paul, y Anna Adamsson de Clean Energy Group por sus valiosos aportes y reseñas de esta guía. Maria Blais Costello, de Clean Energy Group, fue responsable de la elaboración del informe, y trabajó con David Gerratt, de la DG Communications, en el diseño del informe. Traducción al español de ONCALL y editado por Heidi Vázquez García. Asimismo, queremos expresar nuestro profundo agradecimiento por el generoso apoyo de las fundaciones, organizaciones e individuos que financian este trabajo, incluyendo la Fundación Kresge, la Fundación JPB, la Fundación Wells Fargo, la Fundación JPMorganChase, el Centro para la Financiación de Impacto de la Universidad de New Hampshire Carsey Escuela de Políticas Públicas, e Inclusiv. Los puntos de vista y opiniones expresados en esta guía son únicamente los de los autores.

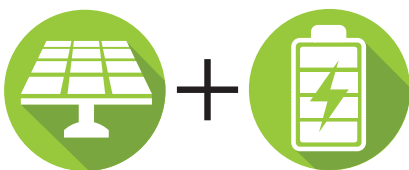
DESCARGO DE RESPONSABILIDAD

Este documento es solo para fines informativos. Los autores no ofrecen garantías, expresas o implícitas, y no asumen ninguna responsabilidad legal por la exactitud, integridad o utilidad de la información proporcionada en este documento. Los puntos de vista y opiniones expresados en este documento no necesariamente expresan o reflejan los de los patrocinadores o cualquiera de las organizaciones e individuos que han ofrecido comentarios mientras se redactaba este documento. Los autores son los únicos responsables del contenido de este informe. Antes de actuar en función de cualquier tipo de información, considere que sea la más adecuada para su situación específica. La información contenida en este documento está sujeta a cambios. Su objetivo es servir de orientación y no debe utilizarse como sustituto de un análisis exhaustivo de los hechos y de la ley. El documento no pretende proporcionar asesoramiento legal o técnico.

Este informe se puede encontrar en el sitio web de Clean Energy Group en <https://www.cleangroup.org/ceg-resources/resource/understanding-solar-storage>.

Entendiendo Solar+Almacenamiento

Respuestas a las preguntas más frecuentes
sobre la energía solar fotovoltaica y el
almacenamiento en baterías



Marriele Mango | Seth Mullendore

CLEAN ENERGY GROUP

JULIO 2024



Contenido

- 5 Glosario de términos
- 10 Introducción
- 15 **P 1:** ¿Qué factores debo tener en cuenta al diseñar un sistema de energía solar+almacenamiento?
- 21 **P 2:** ¿Es la tecnología de energía solar+almacenamiento una solución eficaz de energía de respaldo?
- 27 **P 3:** ¿Cómo puedo determinar el valor de la energía solar+almacenamiento (ahorro, ingresos, resiliencia)?
- 38 **P 4:** ¿Cuánto cuestan las baterías?
- 42 **P 5:** ¿Cómo puedo pagar un sistema solar+almacenamiento (incentivos, subvenciones, financiamiento)?
- 48 **P 6:** ¿Se puede agregar almacenamiento a un sistema solar existente?
- 53 **P 7:** ¿Qué diferentes tipos de baterías están disponibles (y cuál es la adecuada para mí)?
- 58 **P 8:** ¿Qué tamaño de batería necesito?
- 64 **P 9:** ¿Es seguro el almacenamiento en baterías?
- 68 **P 10:** ¿Cuánto dura un sistema solar+almacenamiento?
- 72 **P 11:** ¿Se puede desarrollar la tecnología de energía solar+almacenamiento para beneficiar a las comunidades de bajos ingresos?
- 79 **P 12:** ¿Cuáles son los impactos ambientales del almacenamiento en baterías?
- 84 Conclusión
- 85 Impactos del Programa de Financiación para la Resiliencia Energética: 2014–2023
- 86 Sobre los autores

Glosario de términos

ACUERDO DE COMPRA DE ENERGÍA (PPA): Un tipo de financiamiento de terceros que establece un acuerdo entre un desarrollador y un cliente para instalar un sistema solar (o un sistema solar+almacenamiento) en la propiedad de un cliente con poco o ningún gasto de bolsillo inicial. A través del acuerdo, el cliente paga al tercero una tarifa acordada (dólares por kilovatio-hora) por la energía generada por el sistema.

ACUERDO DE SERVICIOS ENERGÉTICOS (ESA): Un tipo de financiamiento de terceros en el que el desarrollador cubre todos los costos de desarrollo y construcción del proyecto, así como el mantenimiento y operación de un sistema. Una vez que el sistema está operando, el cliente comienza a realizar pagos de cargos por servicio en función de los ahorros realizados. El desarrollador puede beneficiarse de los Certificados de Energía Renovable (REC) e incentivos fiscales asociados con el proyecto. Los Acuerdos de Servicios Energéticos son similares a los Acuerdos de Compra de Energía Solar (definidos a continuación), pero a menudo incluyen otros tipos de tecnologías energéticas, como el almacenamiento de energía y las medidas de eficiencia.

ALMACENAMIENTO EN BATERÍAS: El almacenamiento en baterías consiste en una batería recargable que almacena energía de otras fuentes, como paneles solares o la red eléctrica, para ser descargada y utilizada en un momento posterior. La energía reservada se puede utilizar para muchos propósitos, incluyendo el cambio de fuente de energía cuando la energía solar se consume en ese mismo lugar, la alimentación de hogares o negocios en caso de un corte y la generación de ingresos para el propietario del sistema mediante la prestación de servicios de red. Dos de los tipos más comunes de almacenamiento en baterías combinadas con la energía solar son las baterías de iones de litio y las baterías de plomo-ácido.

ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO: Un análisis de costo-beneficio compara los costos y beneficios de una inversión en particular con otras opciones de inversión y/o mantenimiento del estado actual (es decir, no realizar una inversión).

ARBITRAJE ENERGÉTICO: El almacenamiento de energía, ya sea de la red o de la generación en sitio, durante los períodos en que los precios de la electricidad son bajos, para ser descargada posteriormente cuando los precios de la electricidad son más altos.

AUTOCONSUMO: Cuando se utiliza una batería u otro tipo de sistema de gestión de energía para maximizar la cantidad de energía solar consumida directamente en el lugar y minimizar la cantidad de generación solar enviada a la red o reducida (bajar la producción del sistema solar).

CALEFACCIÓN Y ELECTRICIDAD COMBINADOS (CHP): Los sistemas combinados de calefacción y electricidad son tecnologías que producen electricidad y energía térmica (calefacción y refrigeración), de una fuente de combustible única o combinada. Las tecnologías comunes de calefacción y electricidades combinadas incluyen celdas de combustible, motores alternativos y microturbinas. La combinación de calefacción y electricidad también se conoce como cogeneración.

CAPACIDAD ENERGÉTICA: La cantidad total de energía que puede ser almacenada por un sistema de almacenamiento de energía, generalmente medida en kilovatios-hora, o megavatios-hora para sistemas de almacenamiento más grandes.

CARGAS CRÍTICAS: Los equipos y dispositivos eléctricos que son los más importantes para mantener la energía durante un corte de la red. Las cargas críticas variarán según el tipo de instalación y las necesidades del cliente. Algunos ejemplos de cargas críticas comunes son la iluminación de emergencia, los enchufes para cargar dispositivos eléctricos y la refrigeración.

CENTRO DE RESILIENCIA: Un centro de servicio comunitario que ha sido diseñado para apoyar a los miembros de la comunidad cercana durante y después de tiempos de crisis, como eventos climáticos severos y cortes de energía prolongados, donde se preserva el acceso a servicios esenciales que pueden incluir la carga de dispositivos eléctricos, la regulación de la temperatura y la distribución de recursos.

CICLOS: El ciclo es el proceso de carga (almacenamiento de energía) y descarga (liberación de energía) de un sistema de baterías. Esencialmente, una carga y descarga completa representa un ciclo.

CONFIABILIDAD: La capacidad de un sistema de energía de respaldo para mantener la energía continua sin depender del acceso a recursos externos que pueden estar experimentando interrupciones. La confiabilidad de la red se refiere a la capacidad de la red eléctrica para resistir interrupciones en el servicio y evitar cortes de energía.

COSTOS EVITADOS POR CORTES DE ENERGÍA: Los costos evitados por cortes de energía representan el valor de las pérdidas en las que se habría incurrido si una instalación experimentara un corte de energía sin un sistema de energía de respaldo. Las pérdidas podrían incluir la disminución de la productividad de la fuerza laboral, la interrupción de los servicios e incluso la pérdida de vidas debido a la falta de atención médica o servicios de respuesta ante desastres.

DEGRADACIÓN: Los paneles solares y los sistemas de almacenamiento en baterías se vuelven menos eficientes a medida que funcionan con el tiempo. En el caso de los paneles solares, la cantidad de energía producida disminuye lentamente debido a los efectos de la exposición a los elementos. La capacidad de almacenamiento de energía de las baterías disminuye a medida que las baterías se cargan y descargan debido a las reacciones químicas que se producen como parte de los procesos. La tasa de estas disminuciones es la tasa de degradación.

DEMANDA MÁXIMA: El nivel más alto de demanda de energía (kilovatios) durante un período determinado.

DENSIDAD DE ENERGÍA: Una medida de cuánta energía (kilovatios-hora) se puede almacenar en una batería por unidad de peso, que suele corresponder al tamaño de la batería. Por lo general, una batería de mayor densidad energética requerirá menos espacio físico en una instalación.

DETRÁS DEL MEDIDOR: Los sistemas de almacenamiento de energía detrás del medidor, también conocidos como sistemas ubicados en la propiedad del cliente, se encuentran en las instalaciones del propietario, literalmente detrás del medidor de servicios públicos del cliente, en lugar de los sistemas ubicados al frente del medidor, en el lado de la empresa de servicios públicos, conectados directamente al sistema de distribución de servicios públicos.

ENERGÍA SOLAR COMUNITARIA: La energía solar comunitaria, también llamada energía solar compartida, es un acuerdo de compra en el que varios clientes comparten la electricidad o los beneficios económicos de la energía solar de un solo grupo de paneles solares. Las instalaciones solares comunitarias pueden estar ubicadas físicamente en una propiedad compartida por los clientes, como un edificio de apartamentos multifamiliar, o ubicadas en un lugar remoto.

FUERA DE LA RED: Sistemas de energía local que funcionan completamente separados y desconectados de la red.

FUGAS TÉRMICAS: Un proceso en el que un aumento de la temperatura altera las condiciones de una manera que conduce a nuevos aumentos de temperatura. En las químicas de algunas baterías, la fuga térmica puede ocurrir debido a reacciones químicas que pueden hacer que una celda de la batería se sobrecaliente y eventualmente se incendie.

GARANTÍA: Una garantía de un producto y/o su rendimiento durante un período de tiempo.

GESTIÓN DE LA DEMANDA: La capacidad de reducir el consumo de energía eléctrica de la red durante momentos de alta demanda en el lugar o períodos de altos cargos por demanda de los servicios. El proceso de gestión de la demanda en el lugar para reducir los cargos por demanda facturados por una empresa de servicios eléctricos se conoce como gestión de cargos por demanda.

INTERCONEXIÓN: El proceso de conectar un recurso energético, como la energía solar fotovoltaica y el almacenamiento en baterías, a la red eléctrica. Las empresas de servicios públicos a menudo exigen una revisión de la interconexión para garantizar que el sistema propuesto no tenga impactos negativos en la red.

INVERSOR: Un inversor se utiliza para convertir la energía de CC (corriente continua) generada por la energía solar y el almacenamiento en baterías en energía de CA (corriente alterna) para su uso en hogares y empresas y/o energía de CA de la red a CC cuando se carga un sistema de almacenamiento en baterías.

KILOVATIO: Un kilovatio (kW) es una medida de potencia. Un kilovatio equivale a 1.000 vatios.

KILOVATIO-HORA: Un kilovatio-hora (kWh) es una medida de cuánta energía se utiliza o genera. Un dispositivo que requiere 1 kilovatio de potencia y que funciona durante dos horas utilizará 2 kilovatios-hora de energía. En una factura de servicios públicos, un kilovatio-hora indica cuánta energía fue entregada a un cliente por una empresa de servicios públicos.

MEDICIÓN DE ENERGÍA NETA (NEM): Los programas de medición de energía neta permiten a los clientes obtener créditos en la factura de servicios públicos por la electricidad generada por sus paneles solares que no se consume directamente en el lugar. Los créditos en las facturas se pueden aplicar para compensar el costo de la electricidad consumida de la red pública.

MICRORRED: Una microrred es un sistema de energía local con fuentes de generación en ese mismo lugar que pueden desconectarse de la red pública y funcionar de forma independiente. Una microrred puede estar compuesta por un solo edificio, a veces denominado nanored, o varios edificios interconectados.

PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN SIMPLE: El tiempo que tardan los ahorros e ingresos de un proyecto en igualar o superar el costo total de instalación del sistema.

PLANTA DE ENERGÍA VIRTUAL (VPP): La agregación de muchos, cientos o incluso miles, de recursos energéticos más pequeños distribuidos detrás del medidor (por ejemplo, energía solar fotovoltaica, almacenamiento en baterías, termostatos controlables y cargadores de vehículos eléctricos) con el fin de proporcionar servicios de red que normalmente serían atendidos por una empresa de servicios públicos, como una planta de energía de combustibles fósiles.

POTENCIA NOMINAL: La velocidad máxima a la que una batería puede cargar o descargar energía o un sistema solar puede generar energía. La potencia nominal de una batería o sistema solar suele darse en kilovatios, o megavatios para sistemas más grandes.

PROFUNDIDAD DE DESCARGA (DOD): El porcentaje de capacidad de energía que se puede descargar de una batería antes de que su rendimiento se vea afectado de forma negativa.

RED: Una red que suministra electricidad de los productores a los consumidores. Las empresas de servicios públicos suelen operar la red eléctrica y cobran a los clientes por la energía que utilizan.

REDUCCIÓN DE LA DEMANDA MÁXIMA: El proceso de reducir la demanda máxima mediante la reducción del consumo de energía o mediante la descarga de energía almacenada durante los momentos de alto consumo de energía.

REGULACIÓN DE FRECUENCIA: El equilibrio de la oferta y la demanda de electricidad para mantener la frecuencia de la red dentro de los límites aceptables para que el sistema de energía eléctrica funcione correctamente. La frecuencia de la red es el número de oscilaciones de corriente alterna (CA) durante un período de tiempo (medido en hercios). En los Estados Unidos, la red opera a una frecuencia de 60 hercios.

RENDIMIENTO ENERGÉTICO: La cantidad total de energía que se puede cargar y descargar a lo largo de la vida útil de un sistema de baterías, normalmente representada en megavatios-hora.

RESILIENCIA ENERGÉTICA: La capacidad de proveer energía continua, limpia y confiable a un local aun cuando se cae la red eléctrica

RESPUESTA A LA DEMANDA: Reducir el consumo de electricidad de la red, ya sea a través de la descarga de energía almacenada o el menor uso de dispositivos, en respuesta a las señales de los servicios públicos. Estos eventos de respuesta a la demanda suelen ocurrir en momentos en que la demanda de electricidad de la red en todo el sistema es alta, como los días calurosos en los que el aire acondicionado consume más energía de lo habitual.

SERVICIOS DE RED: Servicios, como la regulación de frecuencia, el soporte de voltaje y la respuesta a la demanda, que respaldan la operación, el equilibrio y la gestión de la red eléctrica.

SISTEMA HÍBRIDO: Un sistema que incluye tanto energía renovable como componentes de combustibles fósiles. Por ejemplo, un sistema solar+almacenamiento con un generador diésel.

SISTEMA SOLAR LISTO PARA ALMACENAMIENTO: Un sistema solar que se instaló anticipando que el almacenamiento en baterías se instalaría en una fecha posterior. Agregar almacenamiento en baterías a un sistema solar listo para almacenamiento es un proceso más fácil y, a menudo, menos costoso que agregar almacenamiento en baterías a un sistema solar que no planeó la adición de almacenamiento.

SOLAR+ALMACENAMIENTO: Una matriz de energía solar fotovoltaica conectada a un sistema de almacenamiento en baterías, ya sea directamente o a través de uno o más inversores.

TARIFAS POR TIEMPO DE USO (TOU): Una estructura de tarifas eléctricas utilizada por algunas empresas de servicios públicos que cobra diferentes tarifas de precios por la electricidad entregada en diferentes momentos del día, con precios más altos — que generalmente ocurren durante períodos de alta demanda de electricidad (períodos pico) — y precios más bajos — que ocurren durante períodos de baja demanda (fuera de las horas pico).

VALOR DE LA CARGA PERDIDA (VOLL): VoLL es el precio aproximado que un cliente está dispuesto a pagar para evitar un corte de energía. VoLL es útil para monetizar el valor total del almacenamiento en baterías para la resiliencia energética.

VIDA ÚTIL: La vida útil de un dispositivo representa cuánto tiempo puede funcionar el dispositivo antes de que se haya degradado hasta el punto en que ya no pueda servir eficazmente su propósito original.

INTRODUCCIÓN

Entendiendo Solar+Almacenamiento

Respuestas a las preguntas más frecuentes sobre la energía solar fotovoltaica y el almacenamiento en baterías



Todos los días, miles de sistemas solares fotovoltaicos (PV) combinados con almacenamiento en baterías (solar+almacenamiento) permiten a los hogares y empresas de todo el país reducir los costos de energía, respaldar la red eléctrica y brindar energía de respaldo durante las emergencias. Si bien las cifras de implementación de la tecnología de energía solar+almacenamiento son relativamente pequeñas en comparación con los sistemas que solo utilizan energía solar, las tasas de instalación han crecido significativamente en los últimos años y se espera

que continúen aumentando rápidamente. Aun así, solar+almacenamiento sigue siendo una solución tecnológica poco comprendida por muchos propietarios, administradores de energía y líderes comunitarios.

Esta guía está diseñada para servir como punto de partida para establecer una base de comprensión para las personas y organizaciones que comienzan a explorar las opciones de energía solar+almacenamiento.

Al abordar las preguntas más frecuentes sobre los sistemas del tipo solar+almacenamiento, esta guía está diseñada para cerrar algunas de las brechas de conocimiento fundamentales con respecto a estas tecnologías. Está destinada a servir como punto de partida para establecer una base de comprensión para las personas y organizaciones que comienzan a explorar opciones de energía solar+almacenamiento para sus hogares, negocios o instalaciones comunitarias.

Para determinar qué lagunas de conocimiento existen, Clean Energy Group (CEG) realizó una encuesta para identificar las preguntas más frecuentes sobre la energía solar+almacenamiento. Las preguntas y áreas temáticas abordadas en esta guía se basan en los comentarios de casi 100 partes interesadas que enviaron preguntas sobre energía solar+almacenamiento. La guía está organizada en 12 preguntas comunes, cada una de las cuales aborda múltiples temas clave. Las respuestas se basan en más de diez años de experiencia a través del trabajo de CEG con propietarios, desarrolladores, organizaciones sin fines de lucro y comunidades para promover la tecnología de energía solar+almacenamiento en comunidades históricamente marginadas y desatendidas.

La información presentada en la guía se centra principalmente en las instalaciones de energía solar+almacenamiento detrás del medidor del cliente, aunque gran parte de la información también es relevante para otros tipos de proyectos, incluyendo los proyectos de solo almacenamiento y los proyectos de energía solar+almacenamiento en la parte frontal del medidor.

Los temas de energía solar+almacenamiento que se abordan incluyen los siguientes:

1. **¿Qué factores debo tener en cuenta al diseñar un sistema de energía solar+almacenamiento?**

TEMAS TRATADOS: consideraciones físicas y estructurales, permisos e interconexión, consideraciones financieras, acoplamiento de CA y CC, factores adicionales para proyectos de resiliencia y algunos casos especiales

2. **¿Es la tecnología de energía solar+almacenamiento una solución eficaz de energía de respaldo?**

TEMAS TRATADOS: consideraciones de carga crítica, comparación de la energía solar+almacenamiento frente a los generadores de combustibles fósiles, breve discusión de otras opciones de energía de respaldo (soluciones híbridas, sistemas portátiles, solo almacenamiento)

3. **¿Cómo determino el valor de la energía solar+almacenamiento (ahorro, ingresos, resiliencia)?**

LOS TEMAS INCLUYEN: ahorros en las facturas de servicios públicos, gestión de cargos por demanda, servicios públicos y de red, costos evitados por cortes de energía, beneficios para la salud y el medio ambiente, y métodos para determinar la rentabilidad de la tecnología de energía solar+almacenamiento

4. **¿Cuánto cuestan las baterías?**

LOS TEMAS INCLUYEN: rangos de costos instalados para sistemas de baterías de iones de litio, disminuciones proyectadas en los costos de almacenamiento en baterías, diferencias entre precios por kilovatio y por kilovatio-hora

¿Qué es la energía solar fotovoltaica y el almacenamiento en baterías y cómo funcionan?

Esta guía responde a preguntas sobre el diseño, la instalación y la economía de los sistemas de energía solar y el almacenamiento en baterías para hogares, empresas e instalaciones comunitarias. No aborda los conceptos básicos de en qué consisten la energía solar fotovoltaica o las baterías y cómo funcionan.

Para obtener una descripción general introductoria de los conceptos básicos de la energía solar, consulte el trabajo “¿Cómo funcionan los paneles solares? Explicación de la energía solar” (*How do solar panels work? Solar power explained*) de EnergySage, disponible en línea en <https://news.energysage.com/solar-panels-work>.

Para obtener una descripción general rápida de la ciencia detrás de las baterías, consulte el trabajo “¿Cómo funciona una batería?” (*How does a battery work?*) de la Escuela de Ingeniería del MIT en <https://engineering.mit.edu/engage/ask-an-engineer/how-does-a-battery-work>.

Instalación de energía solar y almacenamiento en baterías en el Centro de Salud para Migrantes en Maricao, Puerto Rico, una clínica sin fines de lucro comprometida a brindar servicios médicos a todos, independientemente del seguro o la capacidad de pago.

Cortesía de The Solar Foundation y GETCHARGEDUP

5. **¿Cómo puedo pagar un sistema solar+almacenamiento (incentivos, subvenciones, financiamiento)?**

LOS TEMAS INCLUYEN: incentivos fiscales federales, programas de incentivos estatales y de servicios públicos, ejemplos de programas dirigidos a apoyar el desarrollo en comunidades de bajos ingresos, discusión de opciones de financiamiento

6. **¿Se puede agregar almacenamiento a un sistema solar existente?**

TEMAS TRATADOS: posibles barreras para incorporar almacenamiento, enfoques para modernizar una instalación solar existente, instalación de un sistema solar listo para el almacenamiento

7. **¿Qué tipos diferentes de baterías están disponibles (y cuál es la adecuada para mí)?**

TEMAS TRATADOS: descripción general de las baterías de plomo-ácido y de iones de litio, diferencias clave entre las tecnologías (densidad de energía, profundidad de descarga, ciclos, vida útil esperada), breve descripción de otras opciones de almacenamiento

8. **¿Qué tamaño de batería necesito?**

TEMAS TRATADOS: explicación de la potencia nominal de la batería, la capacidad energética y las especificaciones de dimensionamiento de duración; consideraciones de tamaño para aplicaciones de energía de respaldo, gestión de la demanda y aplicaciones de autoconsumo solar; requisitos de espacio físico para los sistemas de baterías



9. ¿Es seguro el almacenamiento en baterías?

LOS TEMAS INCLUYEN: descripción general de los riesgos de seguridad del almacenamiento en baterías y las consideraciones de ubicación, fugas térmicas, riesgos de seguridad cuando ocurre un incendio, recursos con más información sobre los códigos, procedimientos y mejores prácticas de seguridad contra incendios recomendados

10. ¿Cuánto dura un sistema solar+almacenamiento?

LOS TEMAS INCLUYEN: vida útil esperada y garantías típicas para paneles solares, inversores y baterías

11. ¿Se puede desarrollar la tecnología de energía solar+almacenamiento para beneficiar a las comunidades de bajos ingresos?

LOS TEMAS INCLUYEN: beneficios económicos, de resiliencia y ambientales de la tecnología de energía solar+almacenamiento para comunidades de bajos ingresos, concientización y barreras de asequibilidad para la adopción de la tecnología de energía solar+almacenamiento, estudios de casos de proyectos que benefician a comunidades de bajos ingresos

12. ¿Cuáles son los impactos ambientales del almacenamiento en baterías?

LOS TEMAS INCLUYEN: impacto social y ambiental de los procesos de extracción de los materiales y fabricación de baterías de plomo-ácido y de iones de litio, consideraciones sobre el final de la vida útil (reciclaje, reutilización)

Para ayudar a pensar en las etapas iniciales de acercarse a una instalación de energía solar+almacenamiento, CEG publicó una “Lista de verificación del proyecto Solar+Almacenamiento” gratuita con siete pasos sencillos para comenzar el proceso. La lista de verificación está disponible en <https://www.cleangroup.org/publication/Lista-de-Verificación-del-Proyecto-Solar-Almacenamiento>. Además de la información contenida en este informe y la lista de verificación adjunta, ha recopilado docenas de recursos para profundizar en muchos de estos temas. Algunos de esos recursos se pueden encontrar en las notas finales de cada sección, otros se pueden acceder a través del Proyecto de Resiliencia Energética de CEG, disponible en www.resilient-power.org.

¿Por qué solar+almacenamiento?

Se han instalado millones de sistemas de energía solar en los EE. UU. y, aunque la mayoría de las instalaciones solares no incluyen ninguna forma de almacenamiento de energía, la combinación de energía solar con el almacenamiento en baterías se ha vuelto cada vez más común.

Hay muchas razones para incluir el almacenamiento en baterías en una instalación de sistema solar. La resiliencia energética ha sido el principal impulsor de los proyectos residenciales de energía solar+almacenamiento, ya que casi todos los sistemas solares se apagan cuando se produce un corte de la red. Los cargos por servicios públicos relacionados con la demanda han sido una fuerza impulsora para la adopción del almacenamiento en propiedades comerciales y, dado el aumento de la frecuencia y la gravedad de los cortes de energía, muchas instalaciones comerciales y de servicio comunitario están adoptando el almacenamiento en baterías para lograr mayor resiliencia energética. El almacenamiento transforma la energía solar en un recurso flexible y controlable que se puede enviar estratégicamente para maximizar el ahorro de energía y proporcionar energía de respaldo.

Más allá de estas necesidades específicas de almacenamiento de energía que tienen los clientes, la red requerirá cantidades significativas de almacenamiento para lograr los objetivos críticos de mejorar la confiabilidad y proporcionar electricidad con cero emisiones. A medida que más sistemas solares estén conectados a la red, cada vez será más necesario almacenar y trasladar la energía producida a los períodos del día en que los paneles solares no generan electricidad. Las empresas de servicios públicos se están adaptando a esta evolución del sistema energético, al trasladar los períodos de precios máximos de la energía a las mañanas y las tardes en regiones con altos niveles de penetración solar, y mediante la creación de nuevos programas para el almacenamiento en baterías y otros dispositivos de los clientes para apuntar a los períodos de máxima demanda de electricidad.

Si bien la energía solar y el almacenamiento pueden ofrecer valiosos beneficios a los clientes y a la red eléctrica, la combinación de las dos tecnologías puede generar un valor superior a la suma de sus beneficios individuales. Los beneficios combinados incluyen la capacidad de proporcionar energía de respaldo durante cortes de energía prolongados y el suministro de energía limpia cuando la red más la necesita, no solo cuando brilla el sol. Por estas razones, muchos expertos en energía y analistas de mercado están de acuerdo en que la energía solar y el almacenamiento son parte integral del futuro del sistema energético.

El valor del almacenamiento

Las tecnologías tienen la capacidad de beneficiar a cada segmento del sistema eléctrico.

Consumidores residenciales 	Consumidores comerciales 	Servicios públicos 	Operadores de la red 
 <p>Respaldo confiable de energía durante condiciones climáticas severas y otros apagones</p>	 <p>Mantiene los equipos críticos en línea durante interrupciones de energía</p>	 <p>Incrementa la integración renovable</p>	 <p>Equilibrio de oferta y demanda de electricidad</p>
 <p>Reduce las facturas de servicios públicos y genera ingresos</p>	 <p>Reduce las facturas de servicios públicos y genera ingresos</p>	 <p>Reduce la dependencia de plantas pico de combustibles fósiles</p>	 <p>Mejora la calidad y la fiabilidad de la electricidad</p>
		 <p>Reduce los gastos de operación</p>	 <p>Evita costosas actualizaciones del sistema</p>

¿Qué factores debo tener en cuenta al diseñar un sistema de energía solar+almacenamiento?

TEMAS TRATADOS: consideraciones físicas y estructurales, permisos e interconexión, consideraciones financieras, acoplamiento de CA y CC, factores adicionales para proyectos de resiliencia y algunos casos especiales



Al abordar un nuevo proyecto de energía solar+almacenamiento, el primer paso debe ser definir claramente los objetivos del proyecto. ¿Qué es lo que quiere que haga el sistema de energía solar+almacenamiento? ¿Es el ahorro en las facturas de servicios públicos el factor determinante? ¿O es la resiliencia? ¿O la reducción de emisiones? Las respuestas a estas preguntas ayudarán a guiar e informar el resto del proceso de desarrollo.

A la hora de abordar un nuevo proyecto de energía solar+almacenamiento, el primer paso debe ser definir claramente los objetivos del proyecto. ¿Qué es lo que quiere que haga el sistema de energía solar+almacenamiento?

El siguiente paso antes de avanzar demasiado en el desarrollo del proyecto es evaluar la viabilidad de instalar un sistema. Los factores clave y las posibles barreras a tener en cuenta se dividen en tres categorías generales: físicas y estructurales, permisos e interconexión, y consideraciones financieras. (Ver P1 Figura 1, p.16.)

Consideraciones físicas y estructurales

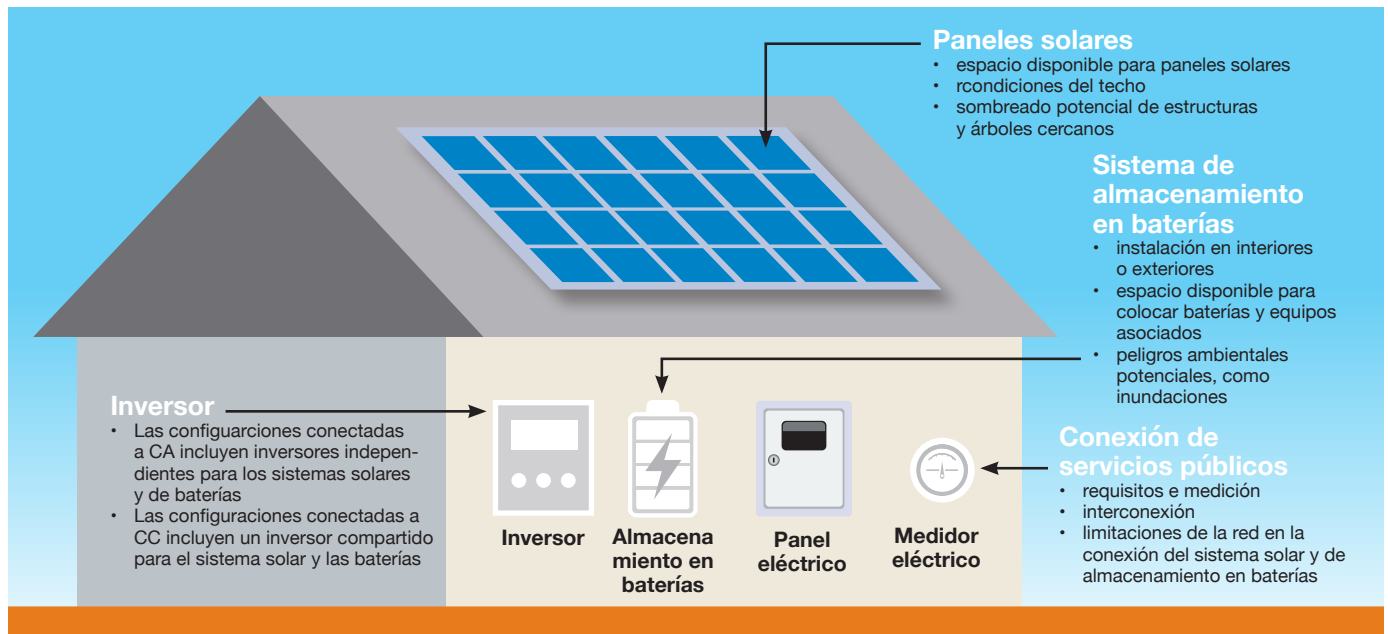
DISPONIBILIDAD SOLAR: Es importante evaluar e identificar cualquier limitación potencial del tamaño del sistema solar, incluyendo las condiciones del techo (espacio disponible, antigüedad, integridad estructural, inclinación, orientación y compensaciones necesarias), la posible sombra que generan los árboles y las estructuras cercanas, y las opciones de ubicación alternativas, como en cocheras o marquesinas y sistemas de montaje en el suelo.

COLOCACIÓN DE LA BATERÍA: ¿El sistema de baterías se colocará en interiores o exteriores? ¿Cuánto espacio adecuado hay disponible para instalar un sistema de baterías y el equipo asociado? ¿Se puede aislar el sistema de posibles peligros ambientales, como inundaciones?

Permisos e interconexión

REQUISITOS PARA OBTENER PERMISOS: Consulte con las oficinas locales de permisos para obtener un conocimiento claro de las regulaciones y requisitos que rigen la instalación de sistemas de energía solar y almacenamiento en baterías. Un consultor o instalador con experiencia puede ser útil en este proceso y debe tomar la iniciativa para determinar el cumplimiento de los requisitos locales y obtener los permisos necesarios. Debido a que los sistemas de almacenamiento en baterías siguen siendo tecnologías bastante nuevas, es posible que algunas autoridades que otorgan permisos no cuenten con requisitos de código establecidos para todos los tipos de tecnologías de sistemas de baterías, lo que podría dar lugar a retrasos en los permisos.

P1 FIGURA 1: Factores a considerar al planificar un sistema de energía Solar+Almacenamiento



Hay varios factores importantes a tener en cuenta a la hora de abordar un nuevo proyecto de energía solar+almacenamiento: las barreras físicas y estructurales que pueden limitar la ubicación y la configuración del sistema, los requisitos locales de permisos y seguridad, y los procedimientos de interconexión de los servicios públicos. Todos estos factores pueden afectar el costo y la viabilidad de una instalación planificada.

INTERCONEXIÓN DE SERVICIOS PÚBLICOS: Dependiendo de la empresa de servicios públicos, es posible que se requiera una revisión de la interconexión antes de que se apruebe un sistema de energía solar+almacenamiento para la interconexión con la red, particularmente para sistemas más grandes. También puede haber limitaciones en cuanto a la cantidad de energía solar y almacenamiento que se puede conectar a ciertas secciones de la red antes de que sea necesaria una actualización de la infraestructura, lo que podría agregar retrasos y gastos y hacer que un proyecto sea inviable. Bajo ciertas condiciones, es posible que las empresas de servicios públicos no permitan que se conecte energía solar o almacenamiento a partes específicas de la red, aunque los sistemas de baterías diseñados para minimizar o eliminar la cantidad de energía que se exporta a la red pueden estar exentos de estas restricciones.

REQUISITOS DE MEDICIÓN: En el caso de los sistemas de energía solar+almacenamiento diseñados para participar en la medición neta de energía u otros programas en los que se obtienen créditos en la factura de servicios públicos por la energía solar producida o exportada a la red, es posible que la empresa de servicios públicos requiera medidores adicionales para rastrear y verificar que solo la energía solar reciba créditos en la factura. En algunos casos, los requisitos de medición pueden agregar costos significativos a un proyecto.

Consideraciones financieras

MEDICIÓN DE ENERGÍA NETA: La medición neta, o alguna forma similar de compensación por la energía producida por un sistema solar y exportada a la red, suele ser fundamental para la economía de la energía solar. Además de comprender los requisitos de medición de los servicios públicos, es importante verificar que las baterías estén permitidas según las políticas de medición de energía solar neta del estado y de la empresa de servicios públicos. Algunas configuraciones de sistemas de energía solar+almacenamiento, como el acoplamiento de CC

(que se analiza más adelante) pueden ser más aceptables en virtud de las políticas de medición neta. En los casos en que la medición solar neta no esté disponible o las tasas de compensación sean muy bajas para la energía exportada, el almacenamiento puede ser beneficioso para aumentar el autoconsumo de energía solar, la cantidad de energía solar consumida directamente en el lugar, limitando o incluso eliminando las exportaciones de energía solar a la red.

INCENTIVOS: Un factor financiero importante para la economía de la energía solar+almacenamiento es la disponibilidad de incentivos, en particular incentivos fiscales como el crédito fiscal federal a la inversión (ITC). El ITC proporciona una línea de base de crédito fiscal del 30 por ciento, así como otros seis créditos adicionales, para incentivar el desarrollo equitativo de las tecnologías de energía solar+almacenamiento. Estos incentivos fiscales están disponibles para los sistemas de energía solar y de almacenamiento en baterías, ya sea que se instalen por separado o como un sistema combinado. A través de una opción llamada Pago Directo o Pago

Electivo, las entidades exentas de impuestos, incluyendo las organizaciones sin fines de lucro y las entidades gubernamentales, pueden solicitar y recibir directamente los créditos del ITC. Para obtener más información sobre los créditos fiscales y el financiamiento, consulte la *Pregunta 5: ¿Cómo puedo pagar un sistema solar+almacenamiento (incentivos, subvenciones, financiamiento)?*

Un instalador, desarrollador o consultor con experiencia en energía solar+almacenamiento debería poder ayudarlo a trabajar en cada una de estas consideraciones y a tomar decisiones informadas a medida que continúa con el proceso de desarrollo.

¿CA o CC?

La mayoría de las cosas que funcionan con electricidad funcionan con corriente alterna (CA). La energía solar y las baterías, por otro lado, trabajan con corriente continua (CC). Es por eso que los sistemas de energía solar y de almacenamiento necesitan inversores para convertir

la energía de CC en energía de CA para su uso en hogares y empresas. La energía solar y el almacenamiento se pueden acoplar a través de una configuración de CA o una configuración de CC.

El acoplamiento de CC puede ser la configuración preferida cuando la energía solar y el almacenamiento se instalan al mismo tiempo, aunque no siempre es así. El acoplamiento de CC básicamente significa que la generación del sistema solar pasa directamente al sistema de almacenamiento en baterías, sin pasar por un inversor. El acoplamiento de CC permite que los sistemas de energía solar y de almacenamiento compartan un solo inversor, lo que puede reducir los costos del equipo. Puede ser más fácil verificar que una batería solo se carga con electricidad generada por energía solar en el lugar cuando los sistemas están acoplados con CC, lo cual es importante para algunos programas de medición neta.

En el acoplamiento de CA, los sistemas de energía solar y de almacenamiento son más independientes entre sí. Cada sistema tendrá su propio inversor, uno convierte la energía solar en CA; otro convierte la energía almacenada de la batería en CA al descargar energía y convierte la energía de CA de la red o del inversor solar en CC durante la carga. El acoplamiento de CA es común cuando se agrega una batería a un sistema solar existente. La configuración aprovecha el inversor solar ya instalado, lo cual suele ser una opción más económica que

La mayoría de las cosas que funcionan con electricidad funcionan con corriente alterna (CA). La energía solar y las baterías, por otro lado, trabajan con corriente continua (CC). Es por eso que los sistemas solares y de almacenamiento necesitan inversores para convertir la energía de CC en energía de CA para su uso en hogares y empresas.

Una batería residencial se combina con energía solar en viviendas asequibles en la reurbanización de McKnight Lane en Waltham, Vermont.

Cortesía de Clean Energy Group



volver a cablear el sistema para una conexión de CC detrás de un solo inversor compartido. Hay algunas pequeñas pérdidas de eficiencia en el acoplamiento de CA debido a la conversión de energía adicional de CC a CA, y luego de nuevo a CC para cargar la batería. Pero a veces se prefieren los sistemas acoplados a CA, incluso cuando la energía solar y el almacenamiento se instalan al mismo tiempo debido a la flexibilidad del acoplamiento de CA, o en los casos en que el sistema solar y las baterías se encuentran a una gran distancia entre sí. Además, algunos sistemas de baterías incluyen inversores incorporados que pueden hacer imposible el acoplamiento de CC. Los sistemas de energía solar+almacenamiento acoplados a CA y CC se abordan con más detalle en la Pregunta 6: ¿Se puede agregar almacenamiento a un sistema solar existente?

Resiliencia

El diseño de un sistema de energía solar+almacenamiento para proporcionar resiliencia energética durante un corte de energía agrega una serie de factores adicionales a considerar. El factor más importante es determinar qué recibirá alimentación de las baterías durante un corte de la energía eléctrica y durante cuánto tiempo, en otras palabras, identificar qué electrodomésticos y dispositivos se consideran “cargas críticas” que deben funcionar durante un corte de la red y cuáles se consideran “no críticas”.

Una consideración clave es cuán difícil sería aislar las cargas críticas de las no críticas, asumiendo que no será necesario alimentar todo el edificio. Si el sitio ya tiene un panel de carga crítica, o si es necesario hacer una copia de seguridad de todas las cargas, entonces no se debería necesitar cableado adicional. Si ese no es el caso, vale la pena explorar una evaluación preliminar de qué cargas críticas pueden y no pueden aislarse juntas de manera razonable. Tener una idea temprana de las necesidades de energía y los dispositivos críticos puede proporcionar una noción del tamaño necesario del sistema y ayudar a determinar si

es factible cumplir los objetivos de resiliencia del proyecto solo con energía solar+almacenamiento, o si se deben considerar otras formas de generación en el lugar, como los sistemas combinados de calefacción y energía y los generadores de respaldo tradicionales.

Otro factor a la hora de diseñar sistemas de energía resilientes es la necesidad de soportar condiciones climáticas extremas, ya sea en forma de vientos huracanados, inundaciones, olas

de calor, nieve o incendios. Para las áreas propensas a huracanes, la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés) recomienda que los paneles solares en los techos se instalen en rieles o bastidores anclados mecánicamente para evitar daños debido a la elevación.¹ Los sistemas de estantería solares flexibles pueden permitir que los sistemas solares sobrevivan a los vientos huracanados.² Los sistemas de baterías deben instalarse muy por encima del plano de inundación o alojarse en recintos impermeables. En áreas donde los cortes de energía se suelen producir como resultado de condiciones de nieve, es posible que la generación solar no esté disponible durante períodos prolongados, lo que debe tenerse en cuenta en las consideraciones de tamaño. Es posible que las áreas expuestas a calor o frío extremos deban considerar el uso de equipos de regulación de temperatura para garantizar un rendimiento óptimo del sistema de baterías y evitar daños. Para obtener más información sobre proyectos de resiliencia, consulte

Los proyectos comunitarios de energía solar+almacenamiento deben desarrollar una estructura de compensación para definir cómo se compartirán entre los suscriptores los ingresos relacionados con el almacenamiento, así como los pagos por la prestación de servicios a la red.

la *Pregunta 2: ¿Es la tecnología de energía solar+almacenamiento una solución eficaz de energía de respaldo?*

Factores adicionales

Las consideraciones que se detallan aquí representan solo un puñado de factores que suelen surgir al considerar un proyecto de energía solar+almacenamiento. Será necesario abordar muchos más dependiendo del tipo de proyecto que se lleve a cabo. Algunos ejemplos de escenarios más complejos son los siguientes.

ENERGÍA SOLAR COMUNITARIA: Algunos proyectos solares comunitarios ahora se combinan con almacenamiento en baterías. Los proyectos comunitarios de energía solar+almacenamiento deben desarrollar una estructura de compensación para definir cómo se compartirán entre los suscriptores los ingresos relacionados con el almacenamiento, así como los pagos por la prestación de servicios a la red. En el caso de los proyectos de resiliencia, las instalaciones solares comunitarias configuradas para enviar energía solo a la red pueden necesitar componentes adicionales para interactuar con un sistema de baterías detrás del medidor durante los cortes de energía.³

VIVIENDA MULTIFAMILIAR: La energía solar+almacenamiento destinada a proporcionar resiliencia en viviendas multifamiliares se utiliza, más comúnmente, para alimentar un centro de resiliencia dentro del complejo de viviendas (por ejemplo, en un área común o espacio comunitario). Durante las operaciones regulares de la red, la energía solar+almacenamiento se utiliza para compensar las facturas de servicios públicos para el propietario y, dependiendo de la empresa de servicios públicos, generar ingresos a través de los servicios de la red. La energía solar para viviendas multifamiliares también se puede configurar como energía solar comunitaria, donde parte de la electricidad del sistema solar se asigna para compensar las facturas de electricidad de las unidades individuales. En este escenario, el almacenamiento puede configurarse como un único sistema más grande que proporciona ahorros y resiliencia

en toda la comunidad o, con menos frecuencia, configurarse como varios sistemas de baterías más pequeños que proporcionan beneficios económicos y de resiliencia directamente a las unidades individuales.⁴

FUERA DE LA RED: Los sistemas de energía solar+almacenamiento que funcionan todo el tiempo completamente fuera de la red implican un nuevo conjunto de consideraciones, concretamente, cómo pasar largos períodos de tiempo con solo una producción solar mínima, por ejemplo, en períodos más cortos de luz solar en los días de invierno o en época de lluvias. Estos sistemas a menudo incluyen generadores de energía de respaldo tradicionales.

P1 NOTAS FINALES

- 1 Agencia Federal para el Manejo de Emergencias, “Rooftop Solar Panel Attachment: Design, Installation, and Maintenance,” [Accesorio de panel solar en la azotea: diseño, instalación y mantenimiento], Aviso de recuperación 5 de abril de 2018, revisado en agosto de 2018. [https://vitema.vi.gov/docs/default-source/response-recovery-documents/\(7\)-usvi-ra5--rooftop-solar-panel-attachment.pdf?sfvrsn=4c0b82ea_2](https://vitema.vi.gov/docs/default-source/response-recovery-documents/(7)-usvi-ra5--rooftop-solar-panel-attachment.pdf?sfvrsn=4c0b82ea_2).
- 2 Departamento de Energía de EE. UU., “Distributed Energy Resources Disaster Matrix” [Matriz de desastres de recursos energéticos distribuidos], Informe de problemas de impacto de desastres de DER, *Centro de soluciones para mejores edificios*, https://betterbuildingssolutioncenter.energy.gov/sites/default/files/attachments/DER_Disaster_Impacts_Issue%20Brief.pdf (consultado el 25 de marzo de 2024). Para obtener más información sobre el diseño del sistema solar para resistir las condiciones climáticas de los huracanes, consulte Laurie Stone, Christopher Burgess y Justin Locke, “Solar Under Storm for Policymakers,” *Rocky Mountain Institute*, 2020, <https://rmi.org/insight/solar-under-storm>.
- 3 Clean Energy Group, “Featured Resilient Power Installations: Maycroft Apartments,” [Instalaciones de energía resiliente destacadas: apartamentos Maycroft], *Clean Energy Group*, <https://www.cleanegroup.org/initiatives/technical-assistance-fund/featured-installations/maycroft-apartments> (consultado el 25 de marzo de 2024).
- 4 Julian Spector, “Transformative: Sonnen to Deliver Community Battery Network with Grid Services Contract,” [Transformativo: Sonnen entregará una red comunitaria de baterías con un contrato de servicios de red], *GTM*, 27 de agosto de 2019, <https://www.greentechmedia.com/articles/read/sonnen-delivers-long-promised-goal>.

PREGUNTA 2

¿Es la tecnología de energía solar+almacenamiento una solución eficaz de energía de respaldo?

TEMAS TRATADOS: consideraciones sobre la carga crítica, comparación de la energía solar+almacenamiento frente a los generadores de combustibles fósiles, breve discusión de otras opciones de energía de respaldo (soluciones híbridas, sistemas portátiles, solo almacenamiento)



En muchos casos, un sistema de energía solar+almacenamiento puede ser adecuado para satisfacer las necesidades de energía de respaldo de un edificio; en otros casos, no tanto, o puede ser solo como una parte de una estrategia de energía de respaldo más amplia. El hecho de que la energía solar+almacenamiento represente o no una solución viable y económica para sus necesidades de energía de respaldo depende de varios factores, pero lo más importante es qué se debe respaldar y durante cuánto tiempo.

Puede que no siempre sea práctico diseñar un sistema de respaldo de energía solar+almacenamiento con el objetivo de alimentar todas las cargas eléctricas de un edificio durante un corte de energía. La barrera es más una cuestión económica que técnica.

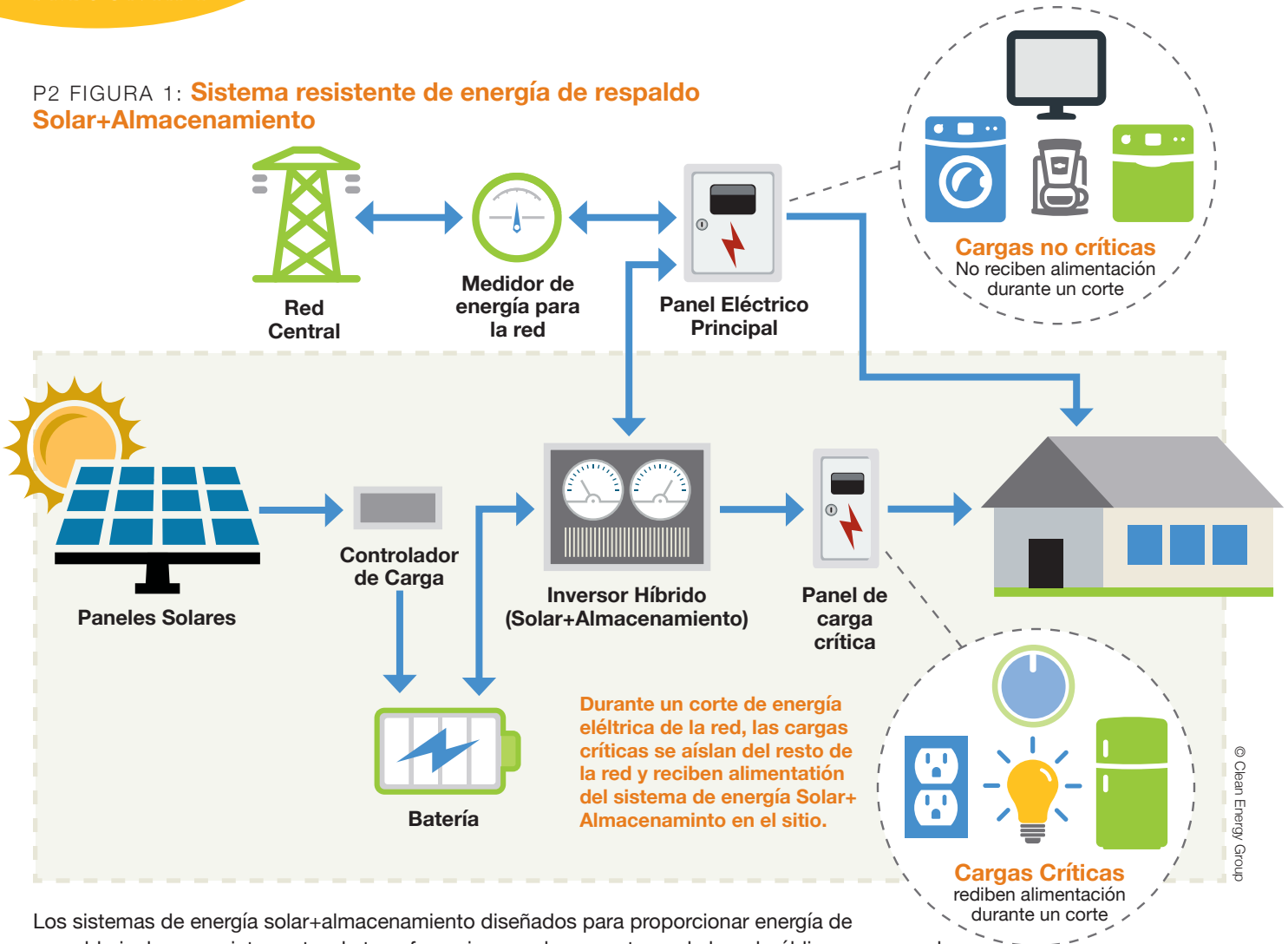
Se puede diseñar un sistema de energía solar+almacenamiento para alimentar una instalación completa o admitir solo cargas críticas designadas, lo que garantiza energía de respaldo para los servicios más vitales durante más tiempo (consulte la P2, Figura 1, p. 22). Dependiendo del tamaño y los requisitos de energía de una instalación, puede que no siempre sea práctico diseñar un sistema de respaldo de energía solar+almacenamiento con el objetivo de alimentar todas las cargas eléctricas de un edificio durante un corte de energía. La barrera es más una cuestión económica que técnica. Aunque el precio de las baterías sigue bajando, aún son tecnologías caras. Cuando no resulte económicamente viable instalar un sistema para alimentar todas las cargas eléctricas de

un edificio, se puede conectar el sistema de energía solar+almacenamiento a un panel de carga crítica, que incluye solo las cargas que necesitan ser alimentadas durante un corte de energía.

En caso de un corte de energía, la mayoría de los sistemas de energía solar+almacenamiento están diseñados para cambiar automáticamente de energía de red a energía de respaldo, un proceso casi instantáneo. Las cargas también se pueden encender y apagar manualmente, e incluso hay nuevos paneles de carga avanzados que permiten administrar los circuitos de forma remota a través de una interfaz en línea, lo que permite encender y apagar las cargas críticas a través de una aplicación en su teléfono.

Las cargas comúnmente designadas como críticas incluyen iluminación, ventiladores, bombas de pozo y tomacorrientes para alimentar cargas enchufables como refrigeradores, dispositivos de calefacción y refrigeración, computadoras, módems y enrutadores, cargadores de teléfonos y dispositivos médicos. En el caso de los edificios más grandes, es posible que también sea necesario designar cargas como ascensores y sistemas de climatización como críticas durante un corte de energía, aunque estas cargas de alta potencia pueden tener un costo prohibitivo para que un sistema de energía solar+almacenamiento las respalde por sí solas.

P2 FIGURA 1: Sistema resistente de energía de respaldo Solar+Almacenamiento



Los sistemas de energía solar+almacenamiento diseñados para proporcionar energía de respaldo incluyen un interruptor de transferencia para desconectarse de la red pública y, a menudo, incorporan un panel de carga crítica. El interruptor de transferencia generalmente se incorpora como un componente del inversor híbrido del sistema, que se muestra aquí en una configuración acoplada a CC. Cuando se produce un corte de energía, el interruptor de transferencia aísla el sistema de energía solar+almacenamiento de la red junto con el panel de carga crítica. Todos los dispositivos abastecidos por el panel de carga crítica seguirán recibiendo alimentación del sistema de energía solar+almacenamiento, mientras que los abastecidos por el panel eléctrico principal no serán alimentados durante un corte de energía.

Energía solar+almacenamiento frente a generadores de combustibles fósiles

¿Es la energía solar+almacenamiento más barata que un generador tradicional de gas o diésel? La respuesta es no, si solo se consideran los costos iniciales del sistema. Sin embargo, esa respuesta puede cambiar cuando la energía solar+almacenamiento puede ofrecer beneficios económicos junto con la energía de respaldo. También se ha descubierto que la energía solar+almacenamiento es menos costosa que los generadores de combustibles fósiles en los casos en que los cortes de energía ocurren con frecuencia o duran un período prolongado.

COSTOS FRENTE A BENEFICIOS: Los generadores de gas y diésel prácticamente están ahí esperando para hacer una cosa: suministrar energía durante un apagón. También tienden a fallar a un ritmo alarmante cuando se necesitan o se requiere que funcionen durante largos

períodos de tiempo. La energía solar+almacenamiento, por otro lado, puede ofrecer beneficios durante todo el año, con o sin cortes de energía. La energía solar ofrece ahorros en la factura de electricidad al compensar el consumo de electricidad de la red, y el almacenamiento puede reducir los cargos por demanda de servicios públicos o cambiar el patrón de consumo de servicios de la red de períodos de alto costo de electricidad a momentos en que los precios de la electricidad son más bajos. Algunas empresas de servicios públicos incluso están pagando una tarifa para aprovechar pequeños sistemas de energía solar+almacenamiento para reducir sus costos operativos o para reemplazar las plantas de energía de combustibles fósiles.¹ Consulte la *Pregunta 3: ¿Cómo determino el valor de la energía solar+almacenamiento (ahorro, ingresos, resiliencia)?*

Aunque las baterías tienen un suministro limitado de electricidad almacenada, la energía solar en el lugar ofrece un suministro listo de energía confiable y renovable para recargar continuamente las baterías y las cargas de energía.

COSTOS INICIALES FRENTE A COSTOS DE POR VIDA: A diferencia de los generadores de combustibles fósiles, la energía solar+almacenamiento no tiene costos de combustible y requiere un mantenimiento mínimo. A pesar de que los sistemas de energía solar+almacenamiento suelen costar más inicialmente, los ahorros en combustible y mantenimiento pueden hacer que estos sistemas sean una opción de energía de respaldo más económicamente viable que los generadores a lo largo del tiempo. En un estudio, la energía solar+almacenamiento tuvo tasas de falla más bajas en comparación con los sistemas de generadores diésel de emergencia de tamaño similar y se amortizó con el tiempo, a diferencia de los generadores diésel.² Investigadores de la Universidad de Washington descubrieron que los pequeños sistemas de energía solar+

almacenamiento desplegados en Puerto Rico después del huracán María eran más rentables de operar que los generadores diésel después de aproximadamente 60 días de operación, lo que podría ocurrir durante un evento importante de larga duración como un huracán, o con múltiples eventos de corte de energía más cortos durante la vida útil de los sistemas.³

FIABILIDAD Y RESILIENCIA: Si bien siguen siendo la solución predeterminada para la energía de respaldo, los generadores tradicionales de combustibles fósiles tienen un desafortunado historial de fallas cuando ocurren grandes desastres. Durante los cortes de energía prolongados, los suministros de combustible a menudo son limitados, lo que genera dificultades para reabastecerse de combustible cuando los suministros en el lugar se agotan. Los generadores también son propensos a fallas mecánicas debido a la falta de pruebas y mantenimiento adecuados, o cuando se someten a un esfuerzo excesivo para hacerlos funcionar durante períodos más largos. Por el contrario, los sistemas de energía solar+almacenamiento suelen funcionar todos los días, lo que disminuye la posibilidad de fallas inesperadas cuando se recurre a ellos en caso de emergencia.

Aunque las baterías tienen un suministro limitado de electricidad almacenada, la energía solar en el lugar ofrece un suministro listo de energía confiable y renovable para recargar continuamente las baterías y las cargas de energía. La intermitencia de los recursos solares puede dar lugar a algunas brechas en la disponibilidad de energía y puede haber ocasiones en las que se produzca un corte y el sistema de baterías no esté completamente cargado, pero un sistema de energía solar+almacenamiento bien diseñado debería ser capaz de alimentar cargas críticas durante días, semanas o incluso meses, sin depender del acceso a recursos externos que pueden estar experimentando sus propias interrupciones.

SEGURIDAD: Es una realidad desafortunada que el envenenamiento por monóxido de carbono aumenta cuando ocurren desastres naturales debido al funcionamiento inadecuado de los



Remolque móvil de energía solar+almacenamiento diseñado por Footprint Project con fondos de Empowered by Light y ensamblado en Puerto Rico por Sail Relief Team y la Estación de Bomberos de Humacao.

Cortesía de Footprint Project

generadores diésel.⁴ Junto con los gases de efecto invernadero, los generadores liberan emisiones tóxicas que pueden tener efectos negativos en la salud de las poblaciones cercanas, especialmente en aquellas personas que ya tienen condiciones respiratorias. Ciertamente, las baterías tienen sus propios problemas de seguridad, pero la energía solar+almacenamiento ofrece una alternativa limpia y silenciosa a los generadores ruidosos y contaminantes (consulte la *Pregunta 9: ¿Es seguro el almacenamiento en baterías?*).

EMPLAZAMIENTO: La energía solar+almacenamiento puede ser la única solución viable de energía de respaldo en algunos casos en los que los permisos o las limitaciones de espacio dificultan o imposibilitan la instalación de un generador. Los paneles solares se pueden colocar en estructuras existentes y el almacenamiento se puede ubicar en áreas interiores, en techos o fuera de edificios. Los sistemas de energía solar+almacenamiento pueden ser la única opción en lugares donde los límites reglamentarios sobre el ruido y/o las emisiones dificultan la colocación y el funcionamiento de generadores.

SOLUCIÓN HÍBRIDA CON ENERGÍA SOLAR+ALMACENAMIENTO: A pesar de los muchos beneficios que la energía solar+almacenamiento puede ofrecer sobre los generadores de combustibles fósiles, puede haber algunos casos en los que los generadores continúen siendo una parte necesaria de una solución de energía de respaldo. Es posible que no sea económicamente posible respaldar a algunas cargas de alta potencia solo con energía solar+almacenamiento. En las regiones nevadas, la generación solar no siempre está disponible y, en algunos casos, los requisitos reglamentarios pueden dictar que ciertas cargas críticas deben estar respaldadas por generadores tradicionales. En estos casos, una solución híbrida que combine energía solar,



Sistema solar que apoya un centro de resiliencia comunitaria en el Museo y Centro Cultural Indio de California en Santa Rosa, California.

Cortesía del Museo y Centro

almacenamiento en baterías y un generador alimentado por combustibles fósiles puede ofrecer la opción más resiliente y rentable. La incorporación de energía solar y almacenamiento con un generador tradicional puede prolongar la vida útil de un generador, reducir el consumo de combustible y las emisiones, y proporcionar una capa adicional de confiabilidad para un subconjunto de cargas críticas.

Sistemas Portátiles

Al igual que los generadores tradicionales, los sistemas de respaldo de energía solar+almacenamiento también están disponibles en variedades más pequeñas y portátiles. En lugar de respaldar directamente los circuitos del edificio durante un corte de energía, los sistemas portátiles de energía solar+almacenamiento ofrecen enchufes y puertos de carga para mantener los dispositivos individuales encendidos y cargados. Estos sistemas pueden variar desde un par de cientos de vatios para dispositivos pequeños hasta unos pocos kilovatios de tamaño, con sistemas más grandes capaces de soportar cargas tan grandes como la de un refrigerador. Los sistemas portátiles de energía solar+almacenamiento se utilizan cada vez más durante los esfuerzos de respuesta y recuperación ante emergencias. Footprint Project, una organización sin fines de lucro que ayuda a los servicios de emergencia a implementar tecnologías limpias durante y después de un desastre, apoya a las organizaciones comunitarias y a los departamentos de gestión de desastres mediante sistemas portátiles de energía solar+almacenamiento.⁵ En algunos casos, sus sistemas del tamaño de un remolque se pueden conectar a instalaciones estacionarias, como una escuela o una iglesia, para proporcionar energía de emergencia temporal.

Almacenamiento sin energía solar

El almacenamiento en baterías sin energía solar es otra opción viable para la energía de respaldo, especialmente para lugares donde puede ser difícil instalar energía solar, como apartamentos y entornos urbanos densos. El principal inconveniente de esta opción es que las baterías tienen una capacidad limitada para proporcionar energía antes de necesitar ser recargadas. Sin energía solar o alguna otra forma de generación en el lugar, no hay una opción disponible para recargar las baterías hasta que se restablezca la energía de la red. Sin embargo, cuando tienen el tamaño adecuado, las baterías por sí solas pueden alimentar cargas eléctricas durante un período prolongado, horas o incluso días, lo que puede salvar vidas para quienes dependen de la electricidad para necesidades críticas como la carga de dispositivos médicos o la refrigeración de medicamentos.⁶

P2 NOTAS FINALES

- 1 Julian Spector, "Batteries vs. Blackouts: 1,100 Homes Powered Through Vermont Outage With Storage," [Baterías vs. apagones: 1.100 hogares alimentados a través de un apagón en Vermont con almacenamiento], *GTM*, 7 de noviembre de 2019, <https://www.greentechmedia.com/articles/read/green-mountain-power-kept-1100-homes-lit-up-during-storm-outage> y Julian Spector, "Sunrun Wins Another Capacity Contract for Aggregated Home Storage," [Sunrun gana otro contrato de capacidad para almacenamiento doméstico agregado], *GTM*, 18 de julio de 2019, <https://www.greentechmedia.com/articles/read/east-bay-power-purchaser-signs-distributed-capacity-contract-with-sunrun>.
- 2 John Fitzgerald Weaver, "Solar-plus-storage outperforms diesel in US military survival análisis," [La energía solar más almacenamiento supera al diésel en el análisis de supervivencia militar de EE. UU.], *PV magazine*, 9 de noviembre de 2023, <https://www.pv-magazine.com/2023/11/09/solar-plus-storage-outperforms-diesel-in-us-military-survival-analysis>.
- 3 Chanaka Keerthisinghe, et al., "PV-Battery Systems for Critical Loads During Emergencies: A Case Study from Puerto Rico After Hurricane Maria," [Sistemas de baterías fotovoltaicas para cargas críticas durante emergencias: un estudio de caso de Puerto Rico después del huracán María], *IEEE Power and Energy Magazine*, Volumen 17, Número: 1, 9 de enero de 2019, <https://ieeexplore.ieee.org/document/8606510>.
- 4 Shahed Iqbal, et al., "A Review of Disaster-Related Carbon Monoxide Poisoning: Surveillance, Epidemiology, and Opportunities for Prevention," [Una revisión del envenenamiento por monóxido de carbono relacionado con desastres: vigilancia, epidemiología y oportunidades para la prevención], *Journal of Public Health* 102(10): Octubre de 2012; p. 1957-1963, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3490658>.
- 5 "Vieques Emergency Management Trailer," [Tráiler de Manejo de Emergencias de Vieques], *Clean Energy Group*, 2020, <https://www.cleanenergygroup.org/initiatives/technical-assistance-fund/featured-installations/vieques-emergency-management-trailer>.
- 6 Annie Shapiro y Marriale Mango, "Home Health Care in the Dark: Why Climate, Wildfires and Other Risks Call for New Resilient Energy Storage Solutions to Protect Medically Vulnerable Households from Power Outages," [Cuidado de la salud en el hogar en la oscuridad: por qué el clima, los incendios forestales y otros riesgos requieren nuevas soluciones de almacenamiento de energía resilientes para proteger a los hogares médicamente vulnerables de los cortes de energía], *Clean Energy Group*, junio de 2019, <https://www.cleanenergygroup.org/ceg-resources/resource/battery-storage-home-healthcare>.

¿Cómo determino el valor de la energía solar+almacenamiento (ahorro, ingresos, resiliencia)?

TEMAS TRATADOS: ahorros en las facturas de servicios públicos, gestión de cargos por demanda, servicios públicos y de red, costos evitados por cortes de energía, beneficios para la salud y el medio ambiente, y métodos para determinar la rentabilidad de la tecnología de energía solar+almacenamiento



Varias métricas y consideraciones pueden ayudar a determinar si un sistema de energía solar+almacenamiento es una inversión rentable y económicamente beneficiosa. La evaluación de los flujos de valor es importante a la hora de calcular la viabilidad económica de un proyecto. Esta sección se centra en las métricas que ayudan a determinar la viabilidad financiera, incluyendo los ahorros en servicios públicos, el período de recuperación de la inversión y el análisis de

costo-beneficio. Sin embargo, también es importante tener en cuenta otras métricas, como el retorno de la inversión (ROI), la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN) y las tasas de descuento.¹ Esta sección también explora los posibles beneficios económicos de la energía solar y el almacenamiento en baterías, incluyendo una introducción a los programas existentes de almacenamiento en baterías dirigidos por las empresas de servicios públicos y una descripción general de cómo calcular si un proyecto de energía solar+almacenamiento es económicamente viable.

Más allá de los beneficios financieros directos (como el ahorro en las facturas de servicios públicos), el valor total de la energía solar+almacenamiento (incluyendo las pérdidas evitadas al tener energía de respaldo durante un corte de energía y los beneficios ambientales y de salud) puede ser

difícil de cuantificar. No obstante, esos otros beneficios deben tenerse en cuenta a la hora de determinar si un sistema de almacenamiento en baterías es una inversión que vale la pena.

El valor total de la energía solar+almacenamiento (incluyendo las pérdidas evitadas por tener energía de respaldo durante un corte de energía y los beneficios ambientales y de salud) puede ser difícil de cuantificar.

Solar

El valor económico de la energía solar es relativamente simple. Los paneles solares generan energía que puede compensar el consumo de electricidad de la red, lo que reduce las facturas de servicios eléctricos.

FLUJOS DE VALOR COMUNES DE LA ENERGÍA SOLAR

- Facturas de servicios públicos más bajas. La generación de energía solar en el lugar compensa el consumo de electricidad de la red. En lugar de comprar toda su energía a una empresa de servicios públicos, se podrán satisfacer algunas de las necesidades de electricidad de un cliente con paneles solares. El usar menos electricidad de la empresa de servicios públicos se convierte en facturas mensuales de servicios públicos más bajas durante todo el año.

- Medición de energía neta (NEM, por sus siglas en inglés). Los programas de medición de energía neta permiten a los clientes obtener créditos en la factura por la electricidad que generan sus paneles solares y que no se consume directamente en el lugar. Cualquier exceso de generación solar fluye hacia la red. Los clientes que participen en un programa NEM verán un crédito en su factura de electricidad que indica cuánta energía exportó su sistema solar a la red y cuánto ganó esa electricidad en créditos en la factura. Los programas NEM y el valor de los créditos por el exceso de generación varían ampliamente según el estado y el programa de servicios públicos.²
- Certificados de Energía Solar Renovable (SREC, por sus siglas en inglés). Los SREC son créditos por la energía que genera un sistema solar, ya sea consumida en el lugar donde se encuentra el sistema o exportada a la red. Un sistema solar gana un SREC por cada 1.000 kilovatios-hora de electricidad producida. Una vez que se obtiene un SREC, el propietario del sistema puede venderlo a su empresa de energía eléctrica.³ Los valores de SREC varían ampliamente según el estado; los precios de SREC en Washington, DC superan los 400 dólares por 1.000 kilovatios-hora, mientras que en Ohio rondan los 4 dólares por 1.000 kilovatios-hora.⁴ Los SREC se ofrecen en la mayoría de los estados que tienen Estándares u Objetivos de Cartera de Energías Renovables.

Almacenamiento en baterías

Para los clientes con servicios públicos que tienen tarifas por tiempo de uso, se puede disponer que las baterías se carguen cuando los precios de la electricidad sean bajos y se descarguen más tarde cuando las tarifas sean más altas. Para los clientes de servicios públicos con cargos por alta demanda, se puede utilizar el almacenamiento en baterías para reducir estos cargos a través de la gestión de la demanda.

Establecer el valor del almacenamiento en baterías puede ser un poco más complejo. Las baterías permiten a los usuarios almacenar electricidad para su uso posterior. Para los clientes con servicios públicos que tienen tarifas por tiempo de uso, se puede disponer que las baterías se carguen cuando los precios de la electricidad sean bajos y se descarguen más tarde cuando las tarifas sean más altas. Para los clientes de servicios públicos comerciales con cargos por alta demanda, el almacenamiento en baterías se puede utilizar para reducir estos cargos a través de la gestión de la demanda.⁵ Las baterías también pueden generar ingresos al proporcionar servicios valiosos a la empresa local de servicios públicos o al operador de la red regional.

FLUJOS DE VALOR COMUNES DEL ALMACENAMIENTO EN BATERÍAS

- Facturas de servicios públicos más bajas. Por lo general, las baterías reducen las facturas de servicios públicos de tres maneras:
 - La gestión de cargos por demanda reduce los gastos de servicios públicos relacionados con la demanda de un cliente mediante el aprovechamiento de la energía almacenada durante los momentos en los que se utiliza mucha electricidad en poco tiempo, por ejemplo, cuando se activan dispositivos de alta potencia como calentadores o bombas de agua. En algunas áreas, los cargos por demanda pueden representar más de la mitad de la factura de electricidad de un cliente comercial.⁶
 - El arbitraje energético reduce las facturas de servicios públicos al cargar y descargar las baterías según los períodos de precios durante el día. Las baterías se cargan cuando los precios de la electricidad son bajos (fuera de las horas pico) y luego se descarga la energía almacenada cuando los precios de la electricidad son más altos (horas pico), por lo que hay menos necesidad de comprar energía de la red durante las horas con

Microrred de Blue Lake Rancheria

En el condado de Humboldt, California, **la microrred de Blue Lake Rancheria** es un ejemplo de cómo la energía solar+almacenamiento puede proporcionar beneficios económicos de una variedad de redes servicios.⁷ Propiedad de Blue Lake Rancheria, una empresa nativa americana reconocida por el gobierno federal tribu en el noroeste de California, el proyecto de microrred proporciona electricidad a las tribus oficinas gubernamentales, estaciones de carga de vehículos eléctricos y un hotel y casino. En Además de proporcionar al menos siete días de energía de respaldo, la Ranchería Blue Lake La microrred proporciona servicios de arbitraje de energía y regulación de frecuencia y está equipada para participar en programas de respuesta a la demanda de servicios públicos. Estos servicios de red, combinados con los ahorros en la factura de la energía solar, se obtiene un rendimiento anual anticipado de USD 200.000.

precios más altos. Cuando hay una gran diferencia entre el precio de las tarifas eléctricas pico y valle, las baterías utilizadas para el arbitraje de energía pueden ser una inversión que vale la pena.

- A través del autoconsumo solar el cliente puede priorizar la compensación directa de su factura de servicios públicos a través de energía solar. El autoconsumo de energía solar tiene como objetivo maximizar el uso en el lugar donde se genera la electricidad a través de paneles solares y minimizar la cantidad de generación de energía solar que se envía a la red. La electricidad se utiliza para las cargas de las instalaciones en tiempo real o se almacena en una batería para su uso posterior.⁸ Algunos estados permiten que se utilice el almacenamiento en baterías en la medición neta. En California, por ejemplo, el almacenamiento en baterías se puede utilizar para exportar energía neta medida a la red. Los cambios recientes en el programa de medición neta de California redujeron el valor de los créditos en la factura de la energía exportada a la red durante los momentos en que la producción de energía solar está en su punto máximo, lo que incentiva efectivamente una mayor adopción del almacenamiento en baterías y hace que los sistemas basados únicamente en energía solar sean menos rentables.⁹

Para obtener más información sobre cómo dimensionar el almacenamiento para generar ahorros en la factura de servicios públicos, consulte la *Pregunta 8: ¿Qué tamaño de batería necesito?*

- Generación de ingresos mediante la prestación de servicios públicos:
 - Los programas de respuesta a la demanda reducen el consumo de electricidad por parte de los clientes de servicios públicos durante los momentos de mayor demanda en todo el sistema. Las baterías pueden participar en la respuesta a la demanda al descargar la electricidad almacenada para satisfacer la demanda en el lugar o exportar energía a la red durante los períodos de máxima demanda, aliviando la carga de la demanda de energía en el sistema eléctrico. Los programas de respuesta a la demanda ayudan a las empresas de servicios públicos a reducir los costos al evitar el uso de plantas de energía costosas e ineficientes, o incluso evitar cortes de energía en

Cómo valorar los beneficios de la energía solar+almacenamiento

ESTUDIO DE CASO: Boulder Housing Partners

UBICACIÓN: Boulder, Colorado

RESUMEN: Además de ser un desarrollador líder de viviendas asequibles y la autoridad de vivienda de la ciudad de Boulder, Boulder Housing Partners (BHP) también brinda servicios de puesto de mando a más de 3.000 residentes de bajos ingresos durante emergencias. BHP exploró la energía solar+almacenamiento como una opción para su sede de North Boulder, con el objetivo de permanecer abierta y operativa durante un corte de energía.

El costo total de la instalación de energía solar+almacenamiento fue de USD 143.476. Después de tener en cuenta varios flujos de valor, la recuperación estimada fue de aproximadamente 19 años.

Los elementos que se enumeran a continuación destacan los flujos de valor que BHP consideró al evaluar los beneficios de la energía solar+almacenamiento. Algunos beneficios tenían un valor monetizable, mientras que otros no.

Puede encontrar más información y recursos relacionados con el proyecto de energía solar+almacenamiento de BHP en un extenso estudio de caso, disponible en <https://www.cleangroup.org/initiatives/technical-assistance-fund/featured-installations/boulder-housing-partners>.

Beneficios monetizables



Ahorros en la factura de servicios públicos por uso de energía solar. USD 1.145 en ahorros anuales en la factura de electricidad



Ahorro en la factura de servicios públicos gracias al almacenamiento en baterías y al sistema de control inteligente. Ahorros de USD 456 en el servicio eléctrico por cargos por demanda por un solo mes



Costos evitados por cortes de energía. Ahorro estimado de USD 6.295 cada año al mantener los servicios, en lugar de tener que cesar las operaciones, durante un corte de energía

Beneficios no monetizables



Reducción de emisiones
La energía solar+almacenamiento compensó 40.000 libras de emisiones de CO₂ durante la vida útil del sistema



Resiliencia
Energía de respaldo confiable y automática en caso de un corte de energía



Emisiones evitadas
BHP pudo instalar un generador de gas más pequeño que funciona con menos frecuencia al priorizar la energía solar+almacenamiento

momentos en que la demanda de electricidad está cerca de exceder el suministro disponible de la red.¹⁰

- Se puede gestionar el almacenamiento en baterías para disponer la carga y descarga en respuesta a las fluctuaciones de la red, lo que se conoce como regulación de

frecuencia.¹¹ La regulación de frecuencia apoya la confiabilidad de la red al equilibrar la oferta y la demanda. Las empresas de servicios públicos y los operadores de la red pueden desplegar la energía almacenada en los sistemas de baterías de forma instantánea, cuando sea necesario, para ayudar a equilibrar la red.

- Las empresas de servicios públicos aplican cada vez más programas que les permiten aprovechar los cientos, o miles, de sistemas de almacenamiento en baterías detrás del medidor que operan en su territorio. La agregación de estos sistemas, junto con otros dispositivos controlables como termostatos inteligentes, calentadores de agua y cargadores de vehículos eléctricos, actúan como una central eléctrica virtual, lo que permite a la empresa de servicios públicos proporcionar servicios de energía a escala de red que normalmente serían atendidos por una instalación a escala de servicios públicos.

Un sistema de almacenamiento en baterías puede participar en todos, algunos o ninguno de estos servicios (mucho depende de la empresa de servicios públicos que preste servicio en el área).

Para los hogares médicamente vulnerables, los sistemas residenciales (o los sistemas instalados en espacios comunitarios de propiedades multifamiliares) pueden proporcionar energía de respaldo para alimentar a los equipos médicos que dependen de la electricidad, como los concentradores de oxígeno, cuando la electricidad de la red no está disponible.

El almacenamiento en baterías y la energía solar proporcionan ventajas económicas separadas y únicas por sí solas; pero los sistemas combinados de energía solar+almacenamiento podrían generar beneficios adicionales, como un mayor ahorro en las facturas de servicios públicos y una mayor resiliencia energética. Además, al instalar energía solar y almacenamiento en baterías al mismo tiempo, los ahorros en los costos de equipos y la optimización del sistema pueden reducir el costo de la instalación de un sistema de baterías en más del 25 por ciento, en comparación con la instalación de una batería independiente.¹²

Beneficios más difíciles de monetizar

No es sencillo poner precio a todos los beneficios. (Consulte el recuadro: *Cómo valorar los beneficios de la energía solar+almacenamiento*, p.30.) La energía solar+almacenamiento tiene numerosos beneficios que no tienen un valor obvio o fácil de calcular, incluyendo los siguientes.

COSTOS EVITADOS POR CORTES DE ENERGÍA: Los costos evitados por los apagones representan el valor de las pérdidas en las que se incurriría si una instalación experimentara un corte de energía sin un sistema de respaldo.¹³ Del mismo modo, el valor de la carga perdida (VoLL, por sus siglas en inglés) es un cálculo del precio aproximado que un cliente está dispuesto a pagar para evitar un corte o garantizar un suministro confiable de energía eléctrica.¹⁴ Las pérdidas podrían incluir productividad de la fuerza laboral, interrupción de servicios e incluso pérdida de vidas debido a falta de atención médica servicios de respuesta ante desastres. Por lo general, los costos evitados por cortes de energía no se incluyen al evaluar el valor económico de la energía solar+almacenamiento porque es difícil calcular y monetizar las pérdidas relacionadas con algo como los impactos negativos para la salud, por ejemplo. Sin embargo, algunas instalaciones críticas han podido incluir los costos evitados por cortes de energía en sus cálculos

Programas de almacenamiento en baterías distribuido de las empresas de servicios públicos



Sistema de batería residencial Tesla.

Cortesía de NREL/
Dennis Schroeder

Cada vez más, las empresas de servicios públicos reconocen el valor que los sistemas de almacenamiento de energía distribuido aportan tanto a los clientes como a la red. El resultado ha sido programas innovadores en todo el país que incentivan el almacenamiento en baterías detrás del medidor en un esfuerzo por agregar miles de baterías más pequeñas en toda una región para usarlas en servicios a escala de red, como la capacidad y la reducción de la demanda máxima. Estas agregaciones a veces se denominan centrales eléctricas virtuales. A continuación, se presentan ejem-

plos de programas de almacenamiento en baterías ofrecidos por las empresas de servicios públicos.

CONNECTED SOLUTIONS (CT, NH, MA, Y RI).¹⁵ ConnectedSolutions es un programa de almacenamiento en baterías administrado por empresas de servicios públicos que se ha ofrecido en cuatro estados del noreste (Connecticut, New Hampshire, Massachusetts, y Rhode Island), y emulado por otros estados.¹⁶ ConnectedSolutions es único en el sentido de que se financia a través de los presupuestos estatales de eficiencia energética como una medida activa de reducción de la demanda, en lugar de como una iniciativa separada de energía limpia o un programa de respuesta a la demanda de servicios públicos. A través de un contrato de varios años entre el cliente y su empresa de servicios públicos, Connected Solutions compensa a los propietarios de sistemas de almacenamiento en baterías, que descargan sus sistemas para reducir la demanda máxima de electricidad regional cuando la empresa de servicios públicos lo solicita. Esto le ahorra dinero a la empresa de servicios públicos al reducir sus costos de demanda máxima. Cuando no se les solicita, los clientes pueden usar el sistema de baterías como deseen: para reducir las facturas de servicios públicos, participar en otros programas y proporcionar energía de respaldo durante cortes de energía. Durante el primer año de operación del programa en Massachusetts, una empresa de servicios públicos, National Grid, informó que el cliente residencial promedio que participó en el programa habría ganado USD 1.375 por año.¹⁷ Los clientes de Massachusetts también pueden acceder a incentivos a través del programa Solar Massachusetts Renewable Target (SMART), que ofrece incentivos para los sistemas de energía solar fotovoltaica, así como incentivos adicionales para los sistemas que incluyen almacenamiento en baterías.¹⁸ Los propietarios de baterías también pueden participar en el Clean Peak Energy Standard de Massachusetts, un programa que requiere que las empresas de servicios públicos adquieran energía renovable para los períodos de máxima demanda.¹⁹

— CONTINUED —

— CONTINUED —

ENERGY STORAGE SOLUTIONS (CT).²⁰ El programa ConnectedSolutions en Connecticut se discontinuó en favor de un programa ampliado llamado Energy Storage Solutions, administrado de forma conjunta por las empresas de servicios eléctricos, Eversource y UI, y el Connecticut Green Bank. Este programa ofrece a los clientes una combinación de incentivos iniciales (del Green Bank) e incentivos de rendimiento (de la empresa de servicios públicos). También tiene un sólido componente de capital, ya que ofrece a los clientes residenciales de bajos ingresos un incentivo inicial más alto, así como opciones de financiamiento de bajo costo y pago en la factura. Energy Storage Solutions mantiene un compromiso con el objetivo Justice40 de la administración del presidente Biden, lo que significa que el 40 por ciento de los sistemas inscritos deben estar ubicados y brindar servicios a comunidades de ingresos bajos a moderados.

GREEN MOUNTAIN POWER HOME ENERGY STORAGE (VT).²¹ La empresa de servicios públicos Green Mountain Power (GMP) en Vermont ha creado un programa de almacenamiento de energía para uso doméstico que ofrece a los clientes residenciales dos sistemas de baterías Tesla Powerwall en alquiler por USD 55 al mes, durante 10 años (o un pago por adelantado de USD 5.500).²² GMP conserva la propiedad de las baterías arrendadas. GMP también ofrece un programa Bring-Your-Own-Device (BYOD), que les da, por adelantado, hasta USD 950 por kilovatio de almacenamiento, a los clientes que ya poseen baterías, a cambio de inscribir sus baterías en el programa de GMP.²³ Estos programas han tenido mucho éxito, y hasta la fecha se han inscrito unas 4.800 baterías. Ambos programas e dan a GMP la capacidad de gestionar de forma remota las baterías residenciales para reducir los costos operativos de los servicios públicos, y las baterías están disponibles para los hogares como energía de respaldo durante los cortes de energía. Después de una severa tormenta invernal en 2019, más de 400 Tesla Powerwalls mantuvieron energía de respaldo durante un promedio de 13 horas para clientes residenciales que experimentaron apagones en todo el territorio de servicio de GMP.²⁴ En 2020, la empresa de energía eléctrica informó haber ahorrado USD 3 millones en costos de servicios públicos para todos los clientes de GMP al recurrir a los sistemas de baterías en su territorio de servicio durante los momentos de alta demanda regional de electricidad.²⁵ Otras empresas de energía eléctrica en New Hampshire, Nueva York y Oregón, han lanzado programas similares de almacenamiento en baterías y se están llevando a cabo programas piloto en Maryland y Carolina del Norte.

de valor del sistema de energía solar+almacenamiento. Un proveedor líder de viviendas asequibles en Boulder, Colorado, descubrió que la energía solar+almacenamiento ahorraría a sus instalaciones aproximadamente USD 2.500 en costos de tiempo de inactividad evitados por cada hora de un corte de energía. Con un promedio de 2,5 horas de cortes de energía por año, eso equivale a un ahorro estimado de más de USD 6.000 cada año.²⁶ Una encuesta de centros de salud comunitarios en Florida reveló que los cortes de energía les cuestan a los centros de salud un promedio de USD 41.000 por día en pérdida de ingresos.²⁷

SALUD: La energía solar+almacenamiento puede mejorar los resultados de salud pública ante un corte de energía al proporcionar energía de respaldo confiable a instalaciones comunitarias

críticas e instituciones médicas, lo que permite que los proveedores de servicios permanezcan abiertos y operativos. Además de mantener las operaciones, la energía solar+almacenamiento también puede respaldar los sistemas de refrigeración y calefacción de las instalaciones; un servicio crítico cuando las temperaturas son peligrosamente altas o bajas. Para los hogares médicamente vulnerables, los sistemas residenciales (o los sistemas instalados en espacios comunitarios de propiedades multifamiliares) pueden proporcionar energía de respaldo para alimentar a los equipos médicos que dependen de la electricidad, como los concentradores de oxígeno, cuando la electricidad de la red no está disponible. Además, el almacenamiento en baterías es una alternativa de cero emisiones a los generadores diésel, que emiten contaminantes con efectos negativos para la salud pública (especialmente para las condiciones respiratorias). Para obtener más información sobre los impactos en la salud de los generadores diésel, consulte la sección “Energía solar+almacenamiento frente a generadores de combustibles fósiles” de la *Pregunta 2: ¿Es la energía solar+almacenamiento una solución eficaz de energía de respaldo?*

MEDIO AMBIENTE: La sustitución de un generador diésel por un sistema de energía solar+almacenamiento reduce las emisiones tóxicas que contribuyen a la mala calidad del aire y al cambio climático. La energía solar+almacenamiento también compensa la cantidad de energía requerida de la red, que es probable que sea parcialmente generada por plantas de energía de combustibles fósiles. Por ejemplo, la energía solar+almacenamiento en la sede de Boulder Housing Partners en Colorado compensó 40.000 libras de dióxido de carbono que de otro modo se habrían emitido como producto de la electricidad suministrada por la red.²⁸

Determinación del valor de la energía solar+almacenamiento

Existen múltiples métodos para determinar si la energía solar+almacenamiento es una solución rentable. Dos de los cálculos más sencillos son el período de recuperación de la inversión simple y el análisis de costo-beneficio.

PERIODO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN SIMPLE: El período de recuperación de la inversión simple es el tiempo que tardan los ahorros y los ingresos de un proyecto de energía solar+almacenamiento en igualar o superar el costo inicial del sistema. Una forma rápida de calcular el período de recuperación de la inversión simple en años es dividir los costos totales del sistema (hardware e instalación menos los incentivos, créditos fiscales y/o reembolsos) por los ahorros anuales promedios proyectados del sistema y los flujos de ingresos (como ahorros en facturas, ingresos del programa de servicios públicos y costos evitados por cortes de energía). Cuanto más corto sea el período de recuperación de la inversión simple, mejor: un período de recuperación de la inversión debe ser menor que la vida útil del sistema para que sea una solución rentable.

En el caso de un sistema de energía solar+almacenamiento, la recuperación de la inversión varía mucho, principalmente en función de las estructuras de tarifas de los servicios públicos y de la disponibilidad de programas o incentivos para las instalaciones solares y de almacenamiento. Por ejemplo, las reglas actualizadas de medición neta de California tuvieron un impacto negativo en la economía de los sistemas basados únicamente en energía solar, pero mejoraron en gran medida la recuperación de la inversión de los sistemas de almacenamiento en baterías. Algunas de esas pérdidas de los sistemas de energía solar se han visto compensadas por aumentos en las tarifas de los servicios públicos que han ayudado a mantener el valor de la energía solar. Actualmente, los californianos pueden esperar un período de recuperación de la inversión de 7 a 8 años para los sistemas de energía solar+almacenamiento, o de 9 a 10 años



Microrred de energía solar+almacenamiento en el campamento de migrantes de Matamoros en México, en la frontera con EE. UU., que alimenta la primera UCI médica móvil del campamento para tratar a pacientes con COVID-19. La instalación es operada por Global Response Management.

Cortesía de Footprint Project

para un sistema comparable que solo utilice energía solar.²⁹ De manera alternativa, en Nueva Orleans, donde las tarifas eléctricas son muy bajas y los cargos por demanda son difíciles de reducir, la recuperación de la inversión de un sistema de energía solar+almacenamiento en una instalación comercial podría ser de más de 30 años, mucho más allá de la vida útil y el período de garantía de un sistema típico.³⁰

Los programas estatales y de servicios públicos pueden mejorar en gran medida la recuperación de la inversión de un sistema de almacenamiento en baterías al reducir los costos iniciales o brindar oportunidades de generación de ingresos. Para obtener más información sobre los programas de las empresas de servicios públicos, consulte el recuadro en Programas de almacenamiento en baterías distribuido de las empresas de servicios públicos en la p. 32. Se puede encontrar más información sobre los incentivos estatales en la *Pregunta 9: ¿Cómo puedo pagar un sistema de energía solar+almacenamiento (incentivos, subvenciones, financiamiento)?*

ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO: Un análisis de costo-beneficio compara los costos y beneficios de una inversión en particular con otras opciones de inversión y/o manteniendo el estado actual. El almacenamiento autónomo se puede comparar con un sistema combinado de energía solar+almacenamiento, o con un sistema que solo utilice energía solar. Los generadores de gas o diésel, junto con sus costos anuales de mantenimiento y combustible, se pueden utilizar en un análisis de costo-beneficio para proyectos de energía de respaldo. Cada opción se debe evaluar en función de los costos de vida útil (instalación, mantenimiento y operaciones), la recuperación de la inversión y los beneficios no monetarios o más difíciles de monetizar, como la confiabilidad, los impactos ambientales y los costos evitados por cortes de energía.

P3 NOTAS FINALES

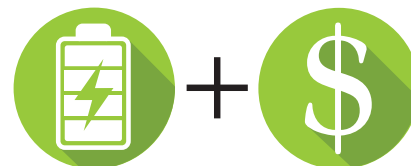
- 1 Para obtener más información sobre el retorno de la inversión, la tasa interna de retorno y las tasas de descuento, consulte "Finance 101 for Solar Professionals," [Finanzas 101 para profesionales de la energía solar], *CED Greentech*, febrero de 2018, <https://www.cedgreentech.com/article/finance-101-solar-professionals> (consultado el 27 de marzo de 2024).
- 2 Para ver qué estados ofrecen programas de medición neta, visite "Net Metering," [Medición neta], *Asociación de Industrias de Energía Solar*, <https://www.seia.org/initiatives/net-metering> (consultado el 22 de marzo de 2024).
- 3 Para obtener más información sobre los SREC, consulte "SREC: Understanding solar renewable energy credits," [SREC: Entendiendo los créditos por energía solar renovable], *EnergySage*, actualizado el 23 de octubre de 2024, <https://www.energysage.com/solar/cost-benefit/sreCs-solar-renewable-energy-certificates> (consultado el 27 de marzo de 2024).
- 4 "District of Columbia SREC Market Prices," [Precios de mercado de SREC del Distrito de Columbia] *SRECTrade*, https://www.srectrade.com/markets/rps/srec/district_of_columbia y "Spot data for the Ohio SREC market" [Datos al contado para el mercado SREC de Ohio], *Flett Exchangehelvetica neue* <https://www.flettexchange.com/markets/srec/ohio/market-prices> (consultado el 20 de marzo de 2024).
- 5 "Energy Storage for Demand Charge Management Webinar," [Seminario web sobre almacenamiento de energía para la gestión de cargos por demanda], *Clean Energy Group*, 24 de junio de 2015, <https://www.cleanegroup.org/webinar/resilient-power-project-webinar-energy-storage-for-demand-charge-management>.
- 6 "An Introduction to Demand Charges," [Una introducción a los cargos por demanda], *Clean Energy Group*, 24 de agosto de 2017, <https://www.cleanegroup.org/publication/demand-charge-fact-sheet/>.
- 7 "Demonstrating a Secure, Reliable, Low-Carbon Community Microgrid at the Blue Lake Rancheria," [Demostración de una microrred comunitaria segura, confiable y baja en carbono en la Ranchería Blue Lake], *California Energy Commission*, enero de 2019, <https://www.energy.ca.gov/publications/2019/demonstrating-secure-reliable-low-carbon-community-microgrid-blue-lake-rancheria> y página de inicio de Blue Lake Rancheria, <https://bluelakerancheria-nsn.gov> (consultado el 27 de marzo de 2024).
- 8 Jacob Marsh, "Self-consumption: What you need to know," [Autoconsumo: lo que necesita saber], *EnergySage*, 27 de febrero de 2024, <https://www.energysage.com/energy-storage/self-consumption>.
- 9 Robert Senior, "NEM 3.0: Why is Battery Storage so Important?" [¿Por qué es tan importante el almacenamiento de baterías?] *Fortress Power*, 5 de junio de 2023, <https://www.fortresspower.com/nem3-why-is-battery-storage-so-important>.
- 10 Seth Mullendore, "Energy Storage and Electricity Markets," [Almacenamiento de energía y mercados de electricidad], 10 agosto de 2015, <https://www.cleanegroup.org/publication/energy-storage-and-electricity-markets-the-value-of-storage-to-the-power-system-and-the-importance-of-electricity-markets-in-energy-storage-economics>.
- 11 Ibidem.
- 12 Jason Finkelstein, Sean Kane y Matt Rogers, "How residential energy storage could help support the power grid." [Cómo el almacenamiento de energía residencial podría ayudar a respaldar la red eléctrica], *McKinsey & Company*, 20 de marzo de 2019, <https://www.mckinsey.com/industries/electric-power-and-natural-gas/our-insights/how-residential-energy-storage-could-help-support-the-power-grid>.
- 13 Para obtener más información sobre los costos evitados por cortes de energía y cómo estos costos pueden afectar la economía de un sistema de energía solar+almacenamiento, consulte Marrielle Mango y Seth Mullendore, "Resilient Southeast: Exploring Opportunities for Solar+Storage in Five Cities," [El sudeste resiliente: explorando oportunidades para la energía solar+almacenamiento en cinco ciudades], *Clean Energy Group*, 25 de abril de 2019, <https://www.cleanegroup.org/publication/resilient-southeast>; y "Valuing the Resilience Provided by Solar and Battery Energy Storage Systems," [Valorando la resiliencia proporcionada por los sistemas de almacenamiento de energía solar y de baterías], *Laboratorio Nacional de Energía Renovable* (NREL), <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70679.pdf> (consultado el 27 de marzo de 2024).
- 14 Para obtener más información sobre el valor de la carga perdida, visite "Valuing Resilience in Electricity Systems," [Valoración de la resiliencia en los sistemas eléctricos], *Laboratorio Nacional de Energía Renovable* (NREL), septiembre de 2022, <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/74673.pdf>.
- 15 "Página de recursos de ConnectedSolutions," *Clean Energy Group*, <https://www.cleanegroup.org/initiatives/energy-storage-policy-and-regulation/connectedsolutions> (consultado el 27 de marzo de 2024).
- 16 El programa se llama ConnectedSolutions en Massachusetts, donde se originó, pero puede tener otros nombres en otros estados. Por ejemplo, en NH se llama "Storage Performance" [Rendimiento de almacenamiento]. Sin embargo, la estructura del plan es la misma.
- 17 "Battery Storage," [Almacenamiento en baterías], *Mass Save*, <https://www.masssave.com/saving/residential-rebates/connectedsolutions-batteries> (consultado el 27 de marzo de 2024).
- 18 "Solar Massachusetts Renewable Target (SMART)," [Programa Objetivo Solar Renovable de Massachusetts (SMART)], *Commonwealth of Massachusetts*, <https://www.mass.gov/solar-massachusetts-renewable-target-smart> (consultado el 27 de marzo de 2024).
- 19 "Clean Peak Energy Standard," [Norma de Energía Pico Limpia], *Commonwealth of Massachusetts*, <https://www.mass.gov/clean-peak-energy-standard>.
- 20 "Energy Storage Solutions," [Soluciones de almacenamiento de energía], *Connecticut Department of Energy and Environmental Protection Public Utilities Regulatory Authority*, <https://portal.ct.gov/pura/electric/office-of-technical-and-regulatory-analysis/clean-energy-programs/energy-storage-solutions-program> (consultado el 27 de marzo de 2024).
- 21 "Home Energy Storage," [Almacenamiento de energía en el hogar], *Green Mountain Power*, <https://greenmountainpower.com/rebates-programs/home-energy-storage> (consultado el 27 de marzo de 2024).
- 22 "Tesla Powerwall," [Batería Tesla Powerwall], *Green Mountain Power*, <https://greenmountainpower.com/rebates-programs/home-energy-storage/powerwall> (consultado el 27 de marzo de 2024).
- 23 "Bring Your Own Device," [Traiga su propio dispositivo], *Green Mountain Power*, <https://greenmountainpower.com/rebates-programs/home-energy-storage/bring-your-own-device> (consultado el 27 de marzo de 2024).

- 24 "GMP Customers Keep Lights on With Stored Low Carbon Energy During Storm Outages," [Los clientes de GMP mantienen las luces encendidas con energía baja en carbono almacenada durante los cortes de tormenta], *Green Mountain Power*, 13 de diciembre de 2018, <https://greenmountainpower.com/news/gmp-customers-keep-lights-on-with-stored-low-carbon-energy-during-storm-outages>.
- 25 "GMP's Energy Storage Programs Deliver \$3 Million In Savings for All Customers During 2020 Energy Peaks," [Los programas de almacenamiento de energía de GMP ofrecen USD 3 millones en ahorros para todos los clientes durante los picos de energía de 2020], *Green Mountain Power*, 29 de septiembre de 2020, <https://greenmountainpower.com/news/gmps-energy-storage-programs-deliver-3-million-in-savings>.
- 26 Marriale Robinson, "Boulder Housing Partners Resilience Upgrades," [Mejoras de resiliencia de Boulder Housing Partners], *Clean Energy Group*, noviembre de 2018, <https://www.cleanenergygroup.org/publication/boulder-housing-partners>.
- 27 Marriale Mango y Gianna Van Winkle, "Supporting Access to Health Care: Resilient Emergency Power for Florida Community Health Centers," [Apoyando el acceso a la atención médica: energía de emergencia resiliente para los centros de salud comunitarios de Florida], *Clean Energy Group*, 24 de mayo de 2023, <https://www.cleanenergygroup.org/publication/resilient-emergency-power-for-florida-community-health-centers>.
- 28 Marriale Robinson, "Boulder Housing Partners Resilience Upgrades," [Mejoras de resiliencia de Boulder Housing Partners], *Clean Energy Group*, noviembre de 2018, <https://www.cleanenergygroup.org/publication/boulder-housing-partners>.
- 29 "NEM 3.0 in California: What you need to know," [NEM 3.0 en California: lo que necesita saber], *EnergySage*, 25 de agosto de 2023, <https://www.energysage.com/blog/net-metering-3-0> (consultado el 24 de marzo de 2024).
- 30 Seth Mullendore, Marriale Robinson y Logan Burke, "Resilient Southeast: Exploring Opportunities for Solar+Storage in New Orleans, LA," [El sudeste resiliente: explorando oportunidades para la energía solar+almacenamiento en Nueva Orleans, LA], *Clean Energy Group*, abril de 2019, <https://www.cleanenergygroup.org/wp-content/uploads/Resilient-Southeast-New-Orleans.pdf>.

PREGUNTA 4

¿Cuánto cuestan las baterías?

TEMAS TRATADOS: rangos de costos de sistemas de baterías de iones de litio instalados, proyecciones de disminución del costo de almacenamiento de baterías, diferencias entre los precios por kilovatio y por kilovatio-hora



El costo del almacenamiento en baterías es una pregunta común y aparentemente sencilla. Desafortunadamente, tratar de precisar una respuesta no siempre es fácil.

Para simplificar, esta sección se centrará en la química de las baterías de litio. Para algunos proyectos, las baterías avanzadas de plomo-ácido pueden ser una opción viable y rentable para explorar, especialmente si las baterías solo proporcionarán energía de respaldo. Baterías de otras químicas también podrían ser una opción, pero, para la mayoría de los proyectos, es posible que no sean tan prácticas o estén tan ampliamente disponibles como las baterías de iones de litio en este momento. Para obtener más información sobre los tipos de baterías, consulte la *Pregunta 7: ¿Qué diferentes tipos de baterías están disponibles (y cuál es la adecuada para mí)?*

Puede ser difícil encontrar información disponible al público que compare los costos de los sistemas de almacenamiento de baterías en función de los tipos de tecnología, los fabricantes, los tamaños de los sistemas y las ubicaciones.

Si bien gracias a la expansión del mercado de los últimos años ahora hay más información disponible sobre el costo de los sistemas de almacenamiento en baterías, aún puede ser difícil encontrar información disponible al público que compare los costos de los sistemas de almacenamiento en baterías en función de los tipos de tecnología, fabricantes, tamaños de sistemas y ubicaciones. Esto se debe en parte a que una porción considerable del precio del sistema instalado depende de cómo esté configurado el sistema de baterías para diferentes usos. Por ejemplo, un sistema de baterías de corta duración y alta potencia para la reducción de la demanda en el lugar frente a un sistema de baterías de mayor duración utilizado como energía de respaldo. Debido a esto, puede ser difícil describir el precio de las baterías en términos generales.

El mayor nivel de transparencia de precio se puede encontrar en el mercado de almacenamiento en baterías residenciales. Los sistemas de almacenamiento doméstico suelen tener un precio similar al de las ofertas de productos estándar, y cada año se instalan miles de baterías en los hogares de Estados Unidos.

Según EnergySage, que hace un seguimiento de las tendencias de precios de las instalaciones residenciales de energía solar y almacenamiento de energía, el costo promedio de una instalación típica de baterías domésticas combinadas con un sistema de energía solar es de aproximadamente USD 9.000 después de los incentivos fiscales federales. (Para más información sobre los incentivos fiscales, consulte la *Pregunta 5: ¿Cómo puedo pagar un sistema*

solar+almacenamiento (incentivos, subvenciones, financiamiento)?) Sin embargo, los costos del sistema de almacenamiento pueden variar significativamente en función del fabricante de la batería y de la ubicación de la instalación. EnergySage descubrió que los costos promedio pueden oscilar entre poco menos de USD 1.000 por kilovatio-hora y casi USD 2.000 por kilovatio-hora antes de los incentivos.¹

La mayoría de los sistemas se encuentran en el rango de USD 1.000 a USD 1.400 por kilovatio-hora. Según el análisis de mercado realizado por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable (NREL, por sus siglas en inglés), agregar una batería de iones de litio de 12,5 kilovatios-hora a un sistema solar doméstico agrega aproximadamente USD 16.000 al costo total instalado cuando no se tienen en cuenta los incentivos federales o de otro tipo. Esto representa un costo de instalación de la batería de USD 1.280 por kilovatio-hora.² Las baterías de plomo-ácido suelen costar menos que las baterías de iones de litio, más en el rango de USD 300 a USD 400 por kilovatio-hora, pero las baterías de plomo-ácido no duran tanto como los sistemas de iones de litio, especialmente cuando se cargan y descargan con frecuencia. Es importante tener en cuenta que los precios de los equipos cotizados por los proveedores de almacenamiento de baterías generalmente no incluyen el costo de instalación del sistema. El hardware adicional, las actualizaciones eléctricas, los impuestos, las tarifas de permisos y otros costos asociados con la instalación de un sistema de batería a menudo agregarán de USD 2.000 a USD 4.000 al costo base de una batería residencial.



Los sistemas de baterías residenciales y comerciales pequeños, como este sistema de almacenamiento sonnen eco 14 de 14 kilovatios-hora en una escuela remota en Orocovis, Puerto Rico, tienden a tener un costo promedio de instalación de entre USD 1.000 y USD 1.400 por kilovatio-hora.

Cortesía de sonnen



Los sistemas de baterías en el rango de 100 kilovatios-hora a 1.000 kilovatios-hora, como este sistema en un supermercado Safeway en San José, California, generalmente cuestan menos que los sistemas más pequeños y se ubican en un rango de entre USD 600 y USD 800 por kilovatio-hora.

Cortesía de ENGIE

En el caso de los sistemas comerciales, la regla general es que cuanto más grande sea el sistema, menor será el costo relativo de instalación. Los sistemas comerciales pequeños, de entre 10 y 100 kilovatios-hora, suelen estar incluidos en un rango similar al de los sistemas de almacenamiento residencial, alrededor de USD 1.000 a USD 1.400 por kilovatio-hora, a veces menos para las baterías en el extremo más grande de este rango. Los sistemas más grandes, de entre 100 kilovatios-hora y 1.000 kilovatios-hora, deberían costar un poco menos, en el rango de USD 600 a USD 800 por kilovatio-hora. Los sistemas de baterías a gran escala, de más de un megavatio-hora, pueden costar menos de USD 600 por kilovatio-hora instalado. NREL estima que un sistema de 1,2 megavatios-hora (1.200 kilovatios-hora) costará un promedio de USD 672 por kilovatio-hora y una batería de 7,2 megavatios-hora a escala comunitaria costará en el rango de USD 490 por kilovatio-hora.³

Los costos de instalación pueden variar ampliamente dependiendo de la complejidad de una instalación y los requisitos locales sobre permisos e interconexión. Los precios de los sistemas de baterías tienden a variar constantemente.

Por supuesto, estos rangos solo deben usarse como punto de partida. Los precios de los equipos de baterías pueden ser bastante consistentes en proyectos similares dentro de una región y un período de tiempo determinados, pero los costos de instalación pueden variar ampliamente según la complejidad de una instalación y los requisitos locales sobre permisos e interconexión. Los precios de los sistemas de baterías tienden a ser un objetivo en constante movimiento.

Esto nos lleva a otra dificultad para precisar el costo de las baterías: tienden a seguir bajando cada año. El precio de los paquetes de baterías de iones de litio (no el costo total del sistema) ha caído casi un 90 por ciento desde 2010, de un promedio de USD 1.100 por kilovatio-hora en 2010 a USD 139 por kilovatio-hora en 2023. Los analistas esperan que las disminuciones significativas de costos continúen en los próximos años y se ubiquen en el orden de USD 80 por kilovatio-hora para 2030.⁴

Claramente, USD 139 por kilovatio-hora es un monto muy inferior a los precios de los sistemas enumerados anteriormente. Esto se debe a que los paquetes de baterías son solo una parte de un sistema completo de almacenamiento en baterías. Un sistema completo puede incluir un inversor, un contenedor, sistemas de control de clima y un sistema de gestión de baterías, por nombrar solo algunos componentes. Dada la disminución en los precios de los paquetes de baterías, estos componentes adicionales se han convertido en porciones más grandes del costo total y a menudo representan la mayor parte del costo total del sistema. Con estos

Los sistemas de baterías a mayor escala, como este sistema de 2.9 megavatios-hora en la escuela secundaria Atrisco Heritage Academy en Albuquerque, Nuevo México, pueden tener costos de instalación inferiores a USD 600 por kilovatio-hora.

Cortesía de OE Solar



componentes adicionales incluidos, los precios de los sistemas de baterías oscilan entre unos pocos cientos de dólares por kilovatio-hora y más de mil.

La buena noticia es que se espera que también se produzcan descensos de precios en el resto los componentes de los sistemas de baterías, y algunos analistas anticipan que los costos no relacionados con los paquetes de baterías reflejen la mayor parte de los descensos en los precios de los sistemas en los próximos años.⁵ Este sería un proceso similar a la evolución de la disminución de los costos de los sistemas de energía solar; el precio de las células solares cayó rápidamente a lo largo del tiempo, mientras que los costos totales del sistema solar cayeron más lentamente.

Aunque el precio es ciertamente importante, no es el único factor a tener en cuenta a la hora de comprar un sistema de almacenamiento en baterías. La duración de la garantía, tanto en años calendario como en número de ciclos (cargas y descargas), es extremadamente importante y puede tener un gran impacto en el precio. Los términos de la garantía dan una indicación de cuándo podría ser necesario reemplazar una batería, lo cual es fundamental para determinar el costo real de las baterías durante un período prolongado. (Consulte la *Pregunta 10: ¿Cuánto dura un sistema solar+almacenamiento?*) El tipo de química de la batería, que afecta el funcionamiento de la batería, las consideraciones de seguridad y las opciones del sistema de gestión (flexibilidad en lo que puede hacer el sistema), también son consideraciones a tener en cuenta a la hora de seleccionar un sistema de almacenamiento.

Otra complejidad en el precio de los sistemas de baterías es comprender la diferencia entre kilovatios y kilovatios-hora. La clasificación de kilovatios de un sistema de baterías representa la potencia máxima que el sistema puede entregar, mientras que la clasificación de kilovatios-hora representa la cantidad total de energía que se puede entregar a lo largo del tiempo. Consulte la *Pregunta 8: ¿Qué tamaño de batería necesito?*) El precio por kilovatio-hora se ha convertido en gran medida en el estándar, pero los precios de las baterías a veces pueden representarse en dólares por kilovatio. La diferencia puede ser confusa, lo que a veces lleva a comparaciones de costos engañosas. Por ejemplo, un sistema de baterías de 10 kilovatios/40 kilovatios-hora con un precio de USD 40.000 costaría USD 4.000 dólares por kilovatio y USD 1.000 por kilovatio-hora; mientras que, una batería de 10 kilovatios/10 kilovatios-hora (misma potencia con menos capacidad) con un precio de USD 20.000 equivaldría a USD 2.000 por kilovatio y USD 2.000 por kilovatio-hora. Si lo único que le importa es la potencia, el sistema de USD 20.000 puede ser la mejor opción, pero el sistema de USD 40.000 es la opción de menor costo en función de la capacidad de energía.

P4 NOTAS FINALES

1. Spencer Fields y Emily Walker, "Solar battery cost: Why they're not always worth it," [Costo de la batería solar: por qué no siempre valen la pena], *EnergySage*, <https://www.energysage.com/energy-storage/how-much-do-batteries-cost> (consultado el 11 de marzo de 2024).
2. Vignesh Ramasamy et al., "U.S. Solar Photovoltaic System and Energy Storage Cost Benchmarks, With Minimum Sustainable Price Analysis: Q1 2023," [Sistema de energía solar fotovoltaica de EE. UU. y valores de referencia de costos de almacenamiento de energía, con análisis de precios mínimos sostenibles.T1 2023], Laboratorio Nacional de Energía Renovable, septiembre de 2023, <https://www.nrel.gov/docs/fy23osti/87303.pdf>
3. "Commercial Battery Storage—Annual Technology Baseline, 2023," [Almacenamiento en baterías comerciales: Annual Technology Baseline], *Laboratorio Nacional de Energía Renovable*, https://atb.nrel.gov/electricity/2023/commercial_battery_storage (consultado el 11 de marzo de 2024).
4. "Lithium-Ion Battery Pack Prices Hit Record Low of \$139/kWh," [Los precios de los paquetes de baterías de iones de litio alcanzan un mínimo histórico de 139 dólares/kWh] *BloombergNEF*, 26 de noviembre de 2023, <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-hit-record-low-of-139-kwh>.
5. Mitalee Gupta, "Balance-of-System Costs Falling for Non-Residential Storage," [Balance de la disminución de los costos en los sistemas de almacenamiento no residencial], *GTM²*, 25 de octubre de 2019, <https://www.greentechmedia.com/articles/read/balance-of-systems-costs-falling-for-non-residential-storage>.

PREGUNTA 5

¿Cómo puedo pagar un sistema solar+almacenamiento (incentivos, subvenciones, financiamiento)?

TEMAS TRATADOS: incentivos fiscales federales, programas de incentivos estatales y de servicios públicos, ejemplos de programas destinados a apoyar el desarrollo en comunidades de bajos ingresos, ejemplos de proyectos que se benefician de subvenciones, discusión de opciones de financiamiento



Los programas de incentivos que asignan fondos a las comunidades de bajos ingresos y de justicia ambiental van un paso más allá al garantizar que las tecnologías sean accesibles para más comunidades.

Si bien los precios de la energía solar y el almacenamiento en baterías han disminuido drásticamente en los últimos años, aún pueden ser demasiado costosos para muchos clientes. El costo inicial de un sistema de energía solar+almacenamiento puede ser una barrera importante para muchos proyectos, especialmente cuando asegurar el financiamiento es un reto. En las regiones en las que las oportunidades de ahorro e ingresos no son lo suficientemente sólidas como para obtener financiamiento con facilidad, los incentivos y las oportunidades de subvenciones desempeñan un papel importante a la hora de acelerar el despliegue de la energía solar+almacenamiento. Dependiendo de la ubicación del proyecto, puede haber múltiples fuentes de fondos y financiamiento disponibles para ayudar a pagar una instalación de energía solar+almacenamiento.

Incentivos para el uso de energía solar y almacenamiento en baterías

Los incentivos estatales, federales y de servicios públicos ayudan a impulsar el desarrollo del mercado de sistemas de energía solar+almacenamiento al reducir los costos iniciales y mejorar la economía del sistema.¹ Los programas de incentivos que asignan fondos a las comunidades de bajos ingresos y de justicia ambiental van un paso más allá al garantizar que las tecnologías sean accesibles para más comunidades. En algunos casos, es posible combinar los incentivos para los sistemas de almacenamiento en baterías y los sistemas de energía solar, lo que compensa los importantes costos de bolsillo de los proyectos.

INCENTIVOS FEDERALES: La energía solar y el almacenamiento en baterías son elegibles para un crédito fiscal federal por inversión (ITC, por sus siglas en inglés). Los proyectos de hasta un megavatio de capacidad califican para un ITC de al menos el 30 por ciento, al igual que los proyectos más grandes que cumplen con los requisitos salariales y de aprendizaje vigentes.

Además del crédito básico del 30 por ciento, los proyectos también pueden ser elegibles para hasta seis créditos adicionales que podrían aumentar el valor del ITC hasta el 70 por ciento del costo del proyecto.² Cuatro de estos créditos no son acumulables, lo que significa que un proyecto solo puede seleccionar uno. Estos créditos no acumulables incluyen créditos de



La ingeniería de asistencia técnica se asocia con los residentes de la Nación Navajo que reciben un sistema de almacenamiento en baterías y energía solar fotovoltaica para entregar energía confiable a su hogar familiar remoto.

Cortesía de JPHB

bonificación del 10 por ciento que están disponibles para proyectos ubicados en una comunidad de bajos ingresos o en tierras tribales y créditos de bonificación del 20 por ciento que están disponibles para proyectos en los que la instalación es parte de un proyecto residencial calificado para personas de bajos ingresos o un proyecto de beneficio económico para personas de bajos ingresos. Además de estos cuatro créditos, el ITC ofrece dos créditos adicionales acumulables del 10 por ciento para proyectos ubicados en una “comunidad energética” y/o que cumplan con los requisitos de fabricación nacional.³

Es importante destacar que, a través de una opción de Pago Directo, también conocida como Pago Electivo, las organizaciones exentas de impuestos ahora pueden beneficiarse directamente del ITC.⁴ Las organizaciones sin fines de lucro y otras entidades exentas de impuestos, como los municipios y los gobiernos tribales, reciben el ITC en forma de reembolso de pago directo después de que se haya puesto en servicio un proyecto de energía limpia. El ITC no es un incentivo inicial, por lo que las organizaciones deberán pagar y/o financiar el costo total del sistema antes de solicitar el pago, lo que puede ser difícil para las instituciones con presupuestos operativos limitados.

INCENTIVOS ESTATALES: Cada vez más estados están empezando a ofrecer incentivos para el almacenamiento en baterías. Maryland, por ejemplo, es el primer estado en ofrecer un crédito fiscal para incentivar los sistemas de baterías. Esos créditos equivalen al 30 por ciento de los costos totales del sistema o USD 5.000 para una propiedad residencial y USD 150.000 para una propiedad comercial, lo que sea menor. Los certificados de crédito fiscal se emiten por orden de llegada, con fondos separados asignados para proyectos residenciales y comerciales.⁵ Otros estados ofrecen incentivos fiscales para la energía solar. Carolina del Sur y Nueva York, por ejemplo, ofrecen créditos para energía solar de hasta el 25 por ciento de los costos del sistema.⁶

Algunos estados han ido un paso más allá al estructurar incentivos para asignar fondos adicionales a proyectos en comunidades de bajos ingresos. Los siguientes programas de incentivos estatales se destacan por priorizar los fondos para el desarrollo del almacenamiento en baterías en comunidades de bajos ingresos.

- **Programa de Incentivos a la Autogeneración de California (SGIP).** El SGIP proporciona diferentes niveles de compensación de reembolso para el almacenamiento en baterías en función de ciertos criterios, incluyendo los ingresos y la proximidad a áreas de alto riesgo de incendios forestales. El programa se divide en tres categorías principales de incentivos: Base, equidad y resiliencia de equidad. Los incentivos de equidad y resiliencia de equidad están diseñados específicamente para comunidades de bajos ingresos y alto riesgo. Las instalaciones y residencias críticas en comunidades de bajos ingresos y comunidades desfavorecidas definidas por el estado en todo California son elegibles para el incentivo de Equidad, que cubre aproximadamente el 80 por ciento del costo de instalar un sistema de almacenamiento en baterías. El incentivo de resiliencia de equidad ofrece la tasa de compensación más alta (USD 1.000/kWh), suficiente para compensar casi todo el costo instalado de un sistema de almacenamiento en baterías. Este incentivo es específicamente para clientes de bajos ingresos, desfavorecidos y médicamente vulnerables que viven en zonas de alto riesgo de incendios forestales o en áreas que han experimentado múltiples interrupciones debido a cortes de energía por seguridad pública (PSPS) relacionados con incendios forestales. Tanto las instalaciones críticas como las residencias son elegibles.⁷
- **Objetivo Solar Renovable de Massachusetts (SMART).** SMART está estructurado como un programa de incentivos basado en la producción, que garantiza una determinada tasa de compensación por cada kilovatio-hora de energía solar generada por un sistema. Aunque el programa SMART se lanzó principalmente para incentivar la energía solar, el programa incluye un “sumador” (fondos adicionales) para los sistemas que incluyen almacenamiento en baterías. SMART también ofrece sumadores de tasas de compensación para proyectos en comunidades de bajos ingresos. La tasa de incentivo SMART de un cliente depende de la empresa de servicios públicos, el tamaño del sistema y la ubicación del proyecto.⁸

INCENTIVOS DE LAS EMPRESAS DE SERVICIOS PÚBLICOS: Las empresas de servicios públicos ofrecen cada vez más incentivos y oportunidades de programas para que los clientes instalen sistemas de almacenamiento en baterías. Los programas de las empresas de servicios públicos brindan a los clientes sistemas de almacenamiento en baterías de costo bajo o reducido que pueden proporcionar energía de respaldo resiliente en caso de un corte de energía. Estos programas también benefician a las empresas de servicios públicos, que pueden aprovechar las baterías para satisfacer la demanda máxima del sistema y proporcionar otros valiosos servicios de red. Los programas de las empresas de servicios públicos de varios años de duración pueden mejorar en gran medida la capacidad de financiamiento de un proyecto de energía solar+almacenamiento. Para obtener más información sobre los programas de almacenamiento en baterías de las empresas servicios públicos, consulte el recuadro *Programas de almacenamiento en baterías distribuido de las empresas de servicios públicos* (p. 32).

FONDOS DE RESPUESTA Y RECUPERACIÓN ANTE DESASTRES: Los programas de Asistencia para la Mitigación de Riesgos de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA, por sus siglas en inglés) ahora consideran que las tecnologías solares y de almacenamiento en baterías son fuentes de energía secundarias elegibles para recibir subvenciones.⁹ Además, el

Los programas de servicios públicos le brindan a los clientes sistemas de almacenamiento en baterías a bajo costo o a costo reducido que pueden proporcionar energía de respaldo resiliente en caso de una interrupción.

programa de subvenciones más grande de FEMA, Asistencia Pública, ahora permitirá a los estados incluir tecnologías de energía renovable en la reconstrucción de instalaciones críticas dañadas después de un desastre natural.¹⁰ Después de una catástrofe, los fondos de Asistencia Pública se pueden usar para reembolsar a los gobiernos estatales, locales, tribales o territoriales el 75 por ciento del costo de reconstrucción o reparación de instalaciones comunitarias críticas, incluidos los “proyectos de energía neta cero”, como la adición de tecnologías solares y de almacenamiento.

Subvenciones

Las subvenciones —de fuentes federales, estatales, de servicios públicos y de fundaciones— pueden proporcionar el financiamiento necesario para muchos proyectos de energía solar+almacenamiento. Dependiendo de la fuente, estas subvenciones se pueden ofrecer para apoyar iniciativas de innovación energética, proyectos de demostración o para beneficiar a comunidades o poblaciones específicas. Es posible que las subvenciones no cubran todos los costos del proyecto, pero pueden ayudar a reducir los costos iniciales o cerrar las brechas financieras.

Los proyectos de energía solar+almacenamiento para viviendas asequibles e instalaciones comunitarias sin fines de lucro pueden requerir diferentes estructuras de financiamiento y propiedad.

Las subvenciones pueden ser especialmente útiles para compensar los costos asociados con un paso preliminar en el proceso de desarrollo del proyecto: realizar una evaluación de viabilidad del sistema de energía solar+almacenamiento. Las subvenciones de asistencia técnica permiten a las organizaciones contratar a expertos externos para analizar una instalación y crear un informe sobre cómo sería un posible proyecto de energía solar+almacenamiento, incluyendo el costo, el tamaño del sistema, los

beneficios económicos y la duración de la energía de respaldo para cargas críticas.¹¹ El programa “Energía solar más almacenamiento para comunidades resilientes” del estado de Washington proporciona subvenciones para asistencia técnica, así como para costos de instalación.¹²

Otros programas de subvenciones apoyan la implementación del proyecto, o una combinación de la implementación del proyecto y la asistencia técnica. Southface Institute, una organización sin fines de lucro con sede en Atlanta, ofrece el programa GoodUse, que brinda asistencia técnica y subvenciones para la implementación de proyectos a organizaciones sin fines de lucro en el sureste. El programa GoodUse compensa en gran medida los costos asociados con las mejoras energéticas, incluyendo el uso de energía solar y almacenamiento en baterías, al proporcionar una contrapartida de financiamiento. Para las organizaciones con un presupuesto operativo inferior a USD 1 millón, Southface ofrece una igualación de 2:1 de hasta USD 40.000.¹³ En Maryland, el programa Resiliency Hub de la Administración de Energía de Maryland (MEA, por sus siglas en inglés) proporciona a las organizaciones sin fines de lucro, los gobiernos locales y las empresas subvenciones que apoyan la instalación de sistemas de energía solar+almacenamiento en comunidades desatendidas.¹⁴

Los siguientes son ejemplos de proyectos de energía solar+almacenamiento que se beneficiaron de diversas formas de asistencia mediante subvenciones.

- **El Departamento Municipal de Luz de Sterling (Sterling Municipal Light Department)** en Massachusetts utilizó subvenciones estatales y federales para instalar baterías de almacenamiento vinculadas a una granja solar existente, con lo que brindó alimentación a instalaciones críticas que brindan servicios de primeros auxilios. Más del 75 por ciento de los costos del proyecto de Sterling se cubrieron con subvenciones. El Departamento de Recursos

Energéticos de Massachusetts otorgó una subvención de USD 1,465 millones, y la Oficina de Electricidad del Departamento de Energía de EE. UU. otorgó una subvención adicional de USD 250.000 a través de la Asociación para el Avance de la Tecnología de Almacenamiento de Energía (Energy Storage Technology Advancement Partnership), junto con asistencia técnica gratuita.¹⁵

- El proyecto de energía solar+almacenamiento de **los Apartamentos Maycroft** en Washington, DC fue el primer desarrollo de viviendas asequibles en la ciudad en alimentar completamente un centro de resiliencia con energía solar+almacenamiento. Jubilee Housing recibió una subvención de asistencia técnica de Clean Energy Group para llevar a cabo la evaluación inicial de viabilidad del proyecto de energía solar+almacenamiento, así como una subvención de USD 65.000 de la fundación de la empresa de servicios públicos local, The PEPCO Foundation, que financió parcialmente el sistema de almacenamiento en baterías.¹⁶
- El **Centro Comunitario POWER House**, ubicado en la comunidad de viviendas públicas más grande de Baltimore, está equipado con energía solar+almacenamiento para brindar servicios de emergencia en caso de un corte de energía. Durante las operaciones regulares, el centro ofrece programas comunitarios, que incluyen servicios de educación y desarrollo profesional. POWER House se benefició de una subvención de USD 250.000 a través del programa Resiliency Hub de la Administración de Energía de Maryland (MEA).¹⁷

Financiamiento

Hay varias herramientas de financiamiento disponibles para proyectos solares y de almacenamiento. Los mercados convencionales y de bajos ingresos requieren diferentes modelos de financiamiento para abordar sus necesidades específicas. Los préstamos convencionales, las inversiones de capital fiscal y el financiamiento tradicional mediante arrendamiento pueden ser una buena opción para los clientes comerciales convencionales habilitados para el crédito. Las viviendas asequibles y las instalaciones comunitarias sin fines de lucro pueden requerir diferentes estructuras de financiamiento y propiedad.¹⁸

El financiamiento de terceros, una opción popular para financiar sistemas solares, se utiliza ahora a menudo para financiar el almacenamiento en baterías. Un tipo de financiamiento de terceros es un acuerdo de compra de energía (PPA, por sus siglas en inglés), en el que un desarrollador instala un sistema solar (o solar+almacenamiento) en la propiedad de un cliente con pocos o ningún gasto de bolsillo inicial.¹⁹ El desarrollador es propietario de la energía generada por el sistema y vende esa electricidad al cliente a una tarifa acordada. Esta tarifa suele ser más baja que la tarifa cobrada por la empresa de servicios públicos, lo que genera ahorros para el cliente y un pago mensual para el desarrollador. Agregar almacenamiento en baterías a un PPA solar aumenta la suma que un cliente paga por kilovatio-hora pero, dependiendo del proyecto, este aumento puede ser muy bajo.²⁰ Otro tipo de financiamiento de terceros es un Acuerdo de Servicios Energéticos (ESA, por sus siglas en inglés), en el que el desarrollador cubre todos los costos de desarrollo y construcción del proyecto, así como el mantenimiento y operación de un sistema. Una vez que el sistema está operativo, el cliente comienza a realizar los pagos acordados en el ESA en función de los ahorros realizados. En algunos casos, las partes de un proyecto de energía solar y almacenamiento en baterías se pueden financiar a través de mecanismos separados, como un PPA para la generación de energía solar y un ESA o una tarifa de arrendamiento mensual para el sistema de almacenamiento.

P5 NOTAS FINALES

- 1 El Centro de Tecnología de Energía Limpia de Carolina del Norte ofrece la "Base de Datos de Incentivos Estatales para Energías Renovables y Eficiencia," que proporciona una descripción general completa de los incentivos por estado y está disponible en <https://www.dsireusa.org>.
- 2 Para obtener más información sobre los Créditos Adicionales del Crédito Fiscal a la Inversión, visite "Investment Tax Credit Fact Sheets: Bonus Credit Program," [Hojas Informativas del Crédito Fiscal a la Inversión: Programa de Créditos Adicionales], *Clean Energy Group*, <https://www.cleangroup.org/publication/investment-tax-credit-fact-sheets-bonus-credit-program> (consultado el 14 de marzo de 2024).
- 3 Hay tres tipos de áreas que pueden calificarse como comunidades energéticas: 1) una sección censal, o una sección censal directamente adyacente, donde una mina de carbón cerró después de 1999 o una unidad generadora de electricidad a carbón se retiró después de 2009; 2) un área con ingresos significativos por contribuciones patronales o impuestos locales provenientes de combustibles fósiles y tasas de desempleo más altas que el promedio; 3) terrenos baldíos.
- 4 Para obtener más información sobre el pago directo para organizaciones sin fines de lucro, visite "Investment Tax Credit (ITC) Direct Pay Fact Sheet for Nonprofits," [Hoja informativa sobre el pago directo del crédito fiscal a la inversión (ITC) para organizaciones sin fines de lucro], *Clean Energy Group*, <https://www.cleangroup.org/publication/direct-pay-fact-sheet> (consultado el 14 de marzo de 2024).
- 5 Para obtener más información sobre el Crédito Fiscal sobre la Renta por Almacenamiento de Energía de Maryland para 2024, visite <https://energy.maryland.gov/business/Pages/EnergyStorage.aspx>. (consultado el 14 de marzo de 2024).
- 6 Para obtener más información sobre los incentivos estatales de energía solar, visite "Solar Incentives by State," [Incentivos solares por estado], *Sunrun*, <https://www.sunrun.com/solar-lease/cost-of-solar/state-rebates> (consultado el 15 de marzo de 2024).
- 7 Para obtener más información sobre el programa SGIP de California, visite "SGIP Incentive Step Tracker," *Programa de Incentivos para la Autogeneración*, https://www.selfgenca.com/home/program_metrics (consultado el 26 de marzo de 2024).
- 8 Para obtener más información sobre el programa SMART de Massachusetts, consulte "Solar Massachusetts Renewable Target (SMART) Program," [Programa Objetivo Solar Renovable de Massachusetts], *Departamento de Recursos Energéticos de Massachusetts*, <https://www.mass.gov/info-details/solar-massachusetts-renewable-target-smart-program> (consultado el 26 de marzo de 2024).
- 9 "B.11. Secondary Power Source," [B11: Fuente secundaria de energía], *Agencia Federal para el Manejo de Emergencias*, <https://www.fema.gov/grants/mitigation/guide/part-12/b/11> (consultado el 15 de marzo de 2024).
- 10 Justine Calma, "FEMA will pay states to install solar panels and heat pumps," [FEMA pagará a los estados para instalar paneles solares y bombas de calor], *The Verge*, 30 de enero de 2024, <https://www.theverge.com/2024/1/30/24055546/fema-solar-panel-pay-costs-disaster-reimbursement>.
- 11 A través de su Proyecto de Energía Resiliente, Clean Energy Group estableció un programa nacional de asistencia técnica que otorga pequeñas subvenciones a entidades sin fines de lucro para evaluaciones de viabilidad de sistemas de energía solar+almacenamiento. El programa se centra en apoyar proyectos en comunidades de bajos ingresos y comunidades históricamente marginadas, al brindar orientación técnica personalizada y subvenciones para apoyar la evaluación de factibilidad de proyectos de energía solar+almacenamiento para cientos de instalaciones, incluyendo viviendas asequibles, centros comunitarios y proveedores de servicios críticos. Para obtener más información sobre el Fondo de Asistencia Técnica de Clean Energy Group, consulte <https://www.cleangroup.org/initiatives/technical-assistance-fund>.
- 12 "Solar plus Storage for Resilient Communities," [Energía solar más almacenamiento para comunidades resilientes], *Departamento de Comercio del Estado de Washington*, <https://www.commerce.wa.gov/growing-the-economy/energy/solar-plus-storage> (consultado el 14 de marzo de 2024).
- 13 Para obtener más información sobre el programa GoodUse ofrecido por Southface, visite "GoodUse," *Southface*, <https://www.southface.org/our-work/programs/gooduse/gooduse-faqs> (consultado el 20 de marzo de 2024).
- 14 "Programa de Maryland Resiliente para el año fiscal 24," *Administración de Energía de Maryland*, <https://energy.maryland.gov/business/pages/ResilientMaryland.aspx> (consultado el 20 de marzo de 2024).
- 15 Para obtener más información sobre el proyecto del Departamento de Luz Municipal de Sterling, visite "Featured Resilient Power Installations: Sterling Municipal Light Dept. Energy Storage System," [Instalaciones de energía resiliente destacadas: Sistema de almacenamiento de energía del Departamento de Luz Municipal de Sterling], *Clean Energy Group*, <https://www.cleangroup.org/initiatives/technical-assistance-fund/featured-installations/sterling-energy-storage> (consultado el 26 de marzo de 2024).
- 16 Para obtener más información sobre el proyecto de los Apartamentos Maycroft, visite "Featured Resilient Power Installations: Maycroft Apartments," [Instalaciones de energía resiliente destacadas: apartamentos Maycroft], *Clean Energy Group*, <https://www.cleangroup.org/initiatives/technical-assistance-fund/featured-installations/maycroft-apartments> (consultado el 26 de marzo de 2024).
- 17 Para obtener más información sobre el proyecto POWER House, visite "Maryland Resiliency Hubs: Open Invitation to Help Neighborhoods," [Centros de Resiliencia de Maryland: Invitación abierta para ayudar a los vecindarios], *Maryland Energy Administration*, 8 de noviembre de 2018, <https://news.maryland.gov/mea/2018/11/08/resiliency-hubs-are-an-open-invitation-to-help-neighborhoods>, y "Our Programs," [Nuestros programas], *Living Classrooms Foundation*, <https://livingclassrooms.org/programs/power-house-community-center> (consultado el 26 de marzo de 2024).
- 18 Para obtener más información sobre estas herramientas de financiamiento, consulte Robert Sanders y Lewis Milford, "Owning the Benefits of Solar+Storage," [Apropiación de los Beneficios de solar+almacenamiento], *Clean Energy Group*, febrero de 2018, <https://www.cleangroup.org/publication/owning-the-benefits-of-solar-storage>.
- 19 "Solar Power Purchase Agreements," [Acuerdos de compra de energía solar], *Asociación de Industrias de Energía Solar*, <https://www.seia.org/research-resources/solar-power-purchase-agreements> (consultado el 9 de septiembre de 2020).
- 20 Para ver un ejemplo de cómo se puede añadir el almacenamiento en baterías a un PPA solar, véase Florian Mayr, "Battery storage at US\$ 20/MWh? Breaking down low-cost solar-plus-storage PPAs in the USA," [¿Almacenamiento en baterías a USD 20/MWh? Desglose de los PPA de almacenamiento y energía solar de bajo costo en los EE. UU.], *Energy Storage News*, 23 de marzo de 2020, <https://www.energy-storage.news/blogs/battery-storage-at-us20-mwh-breaking-down-low-cost-solar-plus-storage-ppas>.

PREGUNTA 6

¿Se puede agregar almacenamiento a un sistema solar existente?

TEMAS TRATADOS: posibles barreras para la incorporación del almacenamiento, opciones para modernizar una instalación solar existente, instalación de un sistema solar listo para el almacenamiento



En la mayoría de los casos, el almacenamiento en baterías se puede agregar a un sistema solar existente. Que tanta dificultad exista para agregar almacenamiento y la mejor manera de hacerlo dependen de algunos factores clave, que incluyen: 1) la estructura de propiedad de los paneles solares existentes; 2) cómo se aborda el almacenamiento en las políticas de medición neta; y 3) si el sistema solar se instaló como “listo para almacenamiento.”

En el caso de los nuevos proyectos, es importante tener claros los términos del contrato a la hora de instalar un sistema solar que luego pueda incorporar el almacenamiento.

Posibles barreras

Las barreras más comunes para adaptar un sistema solar existente para incluir el almacenamiento en baterías tienen que ver con la estructura de propiedad solar, las garantías de los equipos y las políticas de medición neta.

ESTRUCTURA DE PROPIEDAD SOLAR: La primera pregunta que se debe abordar es ¿quién es el propietario del sistema solar existente? Si el sistema solar es propiedad del residente o del dueño de la propiedad, no debería haber ningún problema en incorporar el almacenamiento en baterías. Los sistemas que son propiedad de un tercero, ya sea a través de un contrato de arrendamiento o de compra de energía, podrían complicar una adaptación del sistema para incluir el almacenamiento. Los términos de un acuerdo de propiedad de terceros o un acuerdo de financiamiento pueden prohibir la adición de almacenamiento. En el caso de los sistemas de propiedad de terceros, es importante discutir la adición de almacenamiento en baterías con todas las partes involucradas en la propiedad del sistema solar antes de continuar. En el caso de los nuevos proyectos, es importante tener claros los términos del contrato a la hora de instalar un sistema solar que pueda incorporar posteriormente el almacenamiento.

GARANTÍAS DE LOS EQUIPOS: Las restricciones de garantía de los equipos solares existentes también podrían impedir la adición de almacenamiento. Esto es principalmente una preocupación para los inversores más antiguos que especifican que agregar almacenamiento anularía la garantía del equipo. Si los manuales de los equipos y los documentos de garantía (muchos de los cuales están disponibles en línea) no tienen reglas claras con respecto al almacenamiento en baterías, consulte con los desarrolladores y proveedores de equipos para asegurarse de que las garantías permanezcan intactas. Para los equipos más antiguos que se acercan al final de su vida útil, el reemplazo del equipo puede tener sentido como parte de la adaptación del

sistema para incluir el almacenamiento, en cuyo caso las garantías existentes ya no son un problema.

MEDICIÓN NETA DE ENERGÍA: La mayoría de los sistemas solares existentes participan en algún tipo de programa de medición neta, en el que se obtienen créditos por cualquier energía solar exportada a la red. Los diferentes estados tienen diferentes políticas sobre cómo se maneja el almacenamiento bajo un acuerdo de medición neta. En Massachusetts, por ejemplo, solo el almacenamiento de energía que se carga desde su instalación anfitriona (por ejemplo, a través de paneles solares en el techo) puede participar en la medición de energía neta.¹ Es importante consultar con su empresa de servicios públicos para verificar si se puede agregar almacenamiento a un sistema solar con medición neta y cómo se puede hacer.

Adición de almacenamiento

Si es posible agregar almacenamiento en baterías a un sistema solar sin poner en peligro los acuerdos de propiedad existentes, las garantías de los equipos o los contratos de medición neta, el siguiente paso es decidir cuál es el mejor enfoque para integrar un sistema de almacenamiento en baterías.

En el mejor de los casos, un sistema solar ya está diseñado teniendo en cuenta el almacenamiento, lo que se conoce como sistema solar listo para el almacenamiento. En estos sistemas, agregar almacenamiento debería ser un proceso fácil, tan solo como conectar y encender (a continuación, se presenta más información sobre cómo hacer que un sistema solar esté listo para el almacenamiento). Desafortunadamente, la mayoría de los sistemas solares existentes no previeron agregar baterías cuando se instalaron por primera vez, por lo que el proceso de agregar almacenamiento puede ser más complejo y costoso.

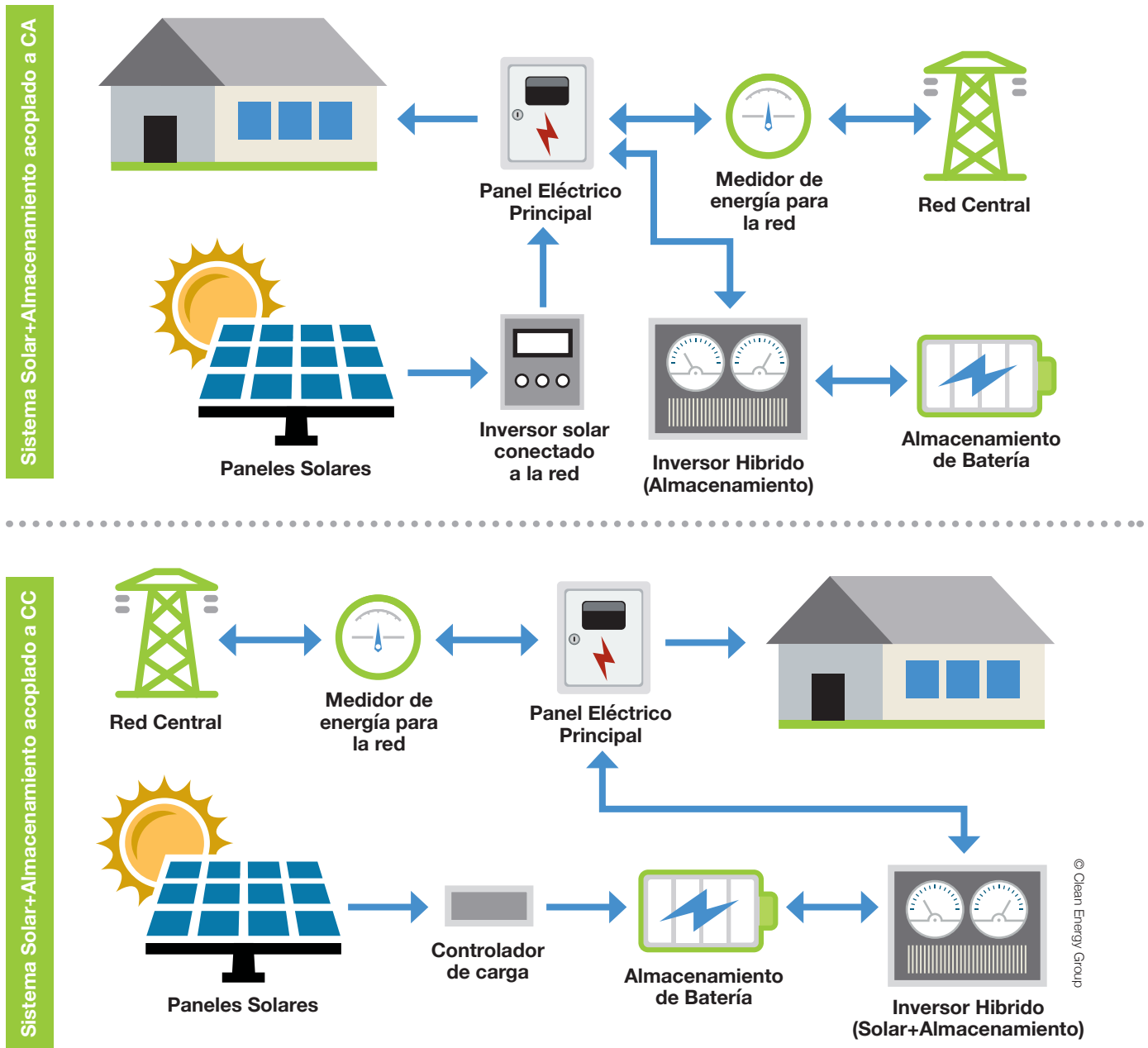
Hay dos formas básicas de agregar almacenamiento, a través del acoplamiento de CA o el acoplamiento de CC (consulte la P6, Figura 1, p. 50). Para los sistemas solares existentes, el acoplamiento de CA suele ser la opción preferida.

Sistema residencial de almacenamiento en baterías LG Chem.

Cortesía de Cinnamon Energy Systems



P6 FIGURA 1: Sistema Solar+Almacenamiento acoplado a CA y CC



Los sistemas de almacenamiento solar y de energía se pueden integrar a través de configuraciones acopladas en CA o CC. La principal diferencia entre el acoplamiento de CA y CC es que, en un sistema de acoplamiento CC, los componentes solares y de almacenamiento comparten un inversor híbrido, mientras que, en el acoplamiento de CA, los componentes solares y de almacenamiento tienen sus propios inversores separados.

ADAPTACIÓN CON ACOPLAMIENTO DE CA: Para una adaptación con acoplamiento de CA, los inversores solares existentes conectados a la red permanecen en su lugar y se agrega un nuevo inversor híbrido o basado en baterías para el sistema de almacenamiento. La elección del acoplamiento de CA permite reutilizar los equipos solares y el cableado existente y ofrece flexibilidad para instalar el nuevo sistema de baterías y el equipo asociado. Algunos sistemas de baterías, como el Tesla Powerwall 2, incluyen un inversor incorporado, lo que facilita el acoplamiento de CA. El acoplamiento de CA suele ser una opción de adaptación de menor costo que el acoplamiento de CC.

Si el sistema de baterías se agrega para proporcionar energía de respaldo durante los cortes de energía de la red, es importante verificar que los inversores solares existentes puedan comunicarse con el nuevo inversor basado en baterías. La falta de comunicación adecuada podría crear problemas que impidan que el sistema funcione correctamente durante un corte de energía y posiblemente causen daños al sistema de baterías. Un desarrollador de proyectos con experiencia debe evaluar los posibles problemas de compatibilidad antes de comenzar el proceso de adaptación.

Debido a que el acoplamiento de CA no implica el intercambio de equipos existentes, es menos probable que se cree un conflicto con los acuerdos o garantías de propiedad de terceros al agregar almacenamiento.

ADAPTACIÓN CON ACOPLAMIENTO DE CC: El acoplamiento de CC de un sistema de energía solar y un sistema de almacenamiento en baterías puede dar lugar a una mejor eficiencia general del sistema debido a menos conversiones de energía CA/CC, pero puede ser una opción de adaptación más costosa para un sistema solar existente. Sin embargo, para los sistemas solares con equipos antiguos, como los inversores que se acercan al final de su vida útil prevista, una adaptación con acoplamiento de CC puede ser una opción viable.

En una adaptación con acoplamiento de CC, los inversores existentes se sustituyen por un controlador de carga y un inversor híbrido que interactúa tanto con el sistema de baterías como con el sistema solar. La adaptación puede incluir un rediseño significativo y un recableado del sistema existente, aunque no siempre es así. Además de costar más, una adaptación con acoplamiento de CC también puede limitar las opciones de ubicación para el nuevo inversor y el sistema de batería que el acoplamiento de CA para evitar largas distancias entre la batería y los sistemas solares.

Interconexión

Una última consideración a la hora de añadir almacenamiento en baterías a un sistema solar existente es el proceso de interconexión de la red de servicios públicos. En algunos casos, es posible que sea necesario presentar un nuevo acuerdo de interconexión a la empresa de servicios públicos para su aprobación al incorporar almacenamiento a un sistema solar existente. Es posible que los sistemas de almacenamiento que no interactúan con la red, como los diseñados para entregar solo energía de respaldo, no tengan que pasar por un nuevo proceso de interconexión. Los retrasos en la interconexión se han convertido en un desafío cada vez más común, ya que tanto la energía solar como el almacenamiento en baterías han crecido en popularidad. En algunos territorios de servicios públicos, estos retrasos pueden ser significativos.² Es una buena idea consultar con su empresa de servicios públicos para comprender el proceso de interconexión y los retrasos asociados para adaptar su sistema solar con almacenamiento.

Hacer que el sistema de energía solar esté “listo para el almacenamiento”

Si está instalando un sistema solar ahora, pero no está listo para agregar almacenamiento en baterías, puede valer la pena considerar la posibilidad de tener su sistema solar listo para el almacenamiento. Incluso si no tiene sentido hoy, los cambios en las cargas eléctricas, la evolución de las estructuras de tarifas de los servicios públicos y la caída de los costos de almacenamiento podrían hacer que el almacenamiento en baterías sea una opción rentable en el futuro. Si bien la instalación de un sistema solar listo para el almacenamiento cuesta más por adelantado, el ahorro de costos que se obtiene al incorporar el almacenamiento en baterías más adelante puede compensar con creces la inversión inicial.

Al igual que cualquier sistema de energía solar+almacenamiento, un sistema listo para el almacenamiento puede estar acoplado a CA o CC. Para preparar un sistema solar listo para el almacenamiento acoplado a CC, se sustituye el inversor solar conectado a la red habitual por un inversor híbrido. Sin embargo, muchos inversores híbridos requieren una batería como fuente de energía, así que asegúrese de consultar con el fabricante del inversor que su producto se puede utilizar tanto como inversor conectado a la red (no se requiere batería) como inversor híbrido. Para el acoplamiento de CA, todavía se usa un inversor conectado a la red para el sistema solar, pero se puede instalar haciendo un cableado adicional hasta la ubicación final del inversor basado en batería y el equipo de almacenamiento adicional.

Independientemente de la configuración, se debe identificar y reservar un espacio adecuado para el sistema de baterías y el equipo asociado durante el proceso de diseño del sistema solar. Los sistemas que pretendan incorporar almacenamiento para energía de respaldo deben identificar y aislar las cargas esenciales en un panel de carga crítica e instalar un interruptor de transferencia si es necesario (consulte la *Pregunta 2: ¿Es la energía solar+almacenamiento una solución eficaz de energía de respaldo?*).

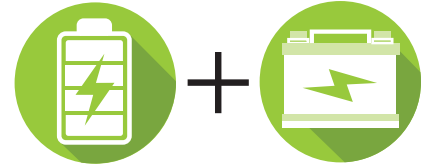
P6 NOTAS FINALES

- 1 “Energy Storage and Net Metering,” [Almacenamiento de energía y medición neta], *Commonwealth of Massachusetts*, <https://www.mass.gov/info-details/energy-storage-and-net-metering> (consultado el 22 de marzo de 2024).
- 2 “The Interconnection Bottleneck: Why Most Energy Storage Projects Never Get Built,” [El cuello de botella de la interconexión: Por qué la mayoría de los proyectos de almacenamiento de energía nunca se construyen], *Applied Economics Clinic y Clean Energy Group*, 11 de mayo de 2023, <https://www.cleangroup.org/publication/the-interconnection-bottleneck-why-most-energy-storage-projects-never-get-built>.

PREGUNTA 7

¿Qué diferentes tipos de baterías están disponibles (y cuál es la adecuada para mí)?

TEMAS TRATADOS: descripción general de las baterías de plomo-ácido y de iones de litio, diferencias clave entre las tecnologías (densidad de energía, profundidad de descarga, ciclos, vida útil esperada), breve descripción de otras opciones de almacenamiento



Seleccionar el sistema de almacenamiento en baterías adecuado para un proyecto puede ser una tarea desalentadora. Hay muchos productos diferentes disponibles, y nuevos sistemas, a veces exóticos, parecen estar entrando en el mercado todo el tiempo.

La gran mayoría de los proyectos de energía solar+almacenamiento que se instalan hoy en día incorporan uno de los dos tipos de sistemas de baterías: plomo-ácido o iones de litio, y los iones de litio dominan cada vez más el espacio. Existen diferencias significativas entre los dos tipos de tecnología; y, dentro de cada categoría amplia, hay una variedad de químicas de baterías, configuraciones y productos individuales.

La gran mayoría de los proyectos de energía solar+almacenamiento incorporan uno de los dos tipos de sistemas de baterías: plomo-ácido o iones de litio, y los iones de litio dominan cada vez más el espacio.

Baterías de plomo-ácido

Las baterías de plomo-ácido son en gran medida un producto conocido. Han existido durante más de un siglo y han sido la opción tecnológica preferida para los sistemas solares fuera de la red durante décadas. A diferencia de las baterías de plomo-ácido que se encuentran en la mayoría de los automóviles, las más adecuadas para su uso con sistemas solares están diseñadas para manejar descargas frecuentes y profundas de energía. Se conocen como baterías de plomo-ácido de ciclo profundo.

Las baterías de plomo-ácido selladas (SLA, por sus siglas en inglés), también conocidas como baterías de plomo-ácido reguladas por válvula (VRLA, por sus siglas en inglés), son en la actualidad el tipo más común instalado con los sistemas de energía solar, a diferencia de las baterías de plomo-ácido inundadas, que requieren un monitoreo y mantenimiento regular. Dentro de las baterías de plomo-ácido selladas, existen diferentes tecnologías, como las baterías de fibra de vidrio absorbente (AGM, por sus siglas en inglés), que pueden descargarse más profundamente que otros tipos de baterías de plomo-ácido. Algunas empresas comercializan baterías AGM específicamente para su integración con sistemas solares.

Las baterías de plomo-ácido tienden a ser más baratas en dólares por kilovatio-hora que las de iones de litio, pero tienen algunos inconvenientes, como una vida útil más corta, una menor capacidad para descargar toda su capacidad sin degradación y densidades de energía más bajas, como se explica a continuación.

Instalación de un sistema de baterías Tesla Powerwall 2 en una estación de bomberos en Puerto Rico.

Cortesía de Hunter Johansson, Solar Responders



Baterías de iones de litio

Las baterías de iones de litio también han existido por bastante tiempo, primero en dispositivos electrónicos pequeños, luego en dispositivos más grandes como herramientas inalámbricas y ahora en automóviles, edificios y sistemas de energía a gran escala. En los últimos años, las baterías de iones de litio han dominado el mercado de almacenamiento estacionario, y en ocasiones representan más del 99 por ciento de las implementaciones de baterías.¹

El término general de iones de litio engloba varias químicas de baterías diferentes. Las dos variedades más comunes son las baterías de litio, níquel, manganeso, cobalto (NMC, por sus siglas en inglés) y fosfato de hierro y litio (LFP, por sus siglas en inglés). Las baterías NMC, que se encuentran en el popular Tesla Powerwall 2, fueron la química más común utilizada en los sistemas de almacenamiento estacionario durante varios años. Sin embargo, en gran parte debido a la caída de los costos, muchos fabricantes han hecho la transición a paquetes de baterías LFP, que se utilizan en el Powerwall 3 de Tesla. Además de los costos más bajos, las baterías LFP presentan menos problemas de seguridad relacionados con los incendios que las baterías NMC, ya que es menos probable que experimenten una “fuga térmica”, una reacción química que puede hacer que una batería se sobrecaliente y se incendie. Consulte la *Pregunta 9: ¿Es seguro el almacenamiento en baterías?* Las baterías LFP también tienden a tener una vida útil cíclica más alta (más carga y descarga con menos degradación) que las baterías NMC.

Plomo-ácido frente a iones de litio

Si bien las baterías de plomo-ácido suelen ser la opción de batería más barata en función de los costos iniciales, durante la vida útil de un sistema, las baterías de iones de litio ganan en otras categorías importantes, en particular, densidad de energía, profundidad de descarga, vida útil cíclica y vida útil esperada (consulte la P7, Figura 1, p. 56).

DENSIDAD DE ENERGÍA: La densidad de energía es una medida de cuánta energía (medida en kilovatios-hora) se puede empaquetar en una batería por unidad de peso, que generalmente corresponde al tamaño de la batería. En otras palabras, una batería con una densidad de energía más alta es capaz de almacenar más energía por peso (y generalmente tiene una huella física más pequeña) que una batería con una densidad de energía más baja. Debido a que las baterías de plomo-ácido tienen una densidad de energía más baja que las baterías de iones de litio, son más pesadas y ocupan más espacio.

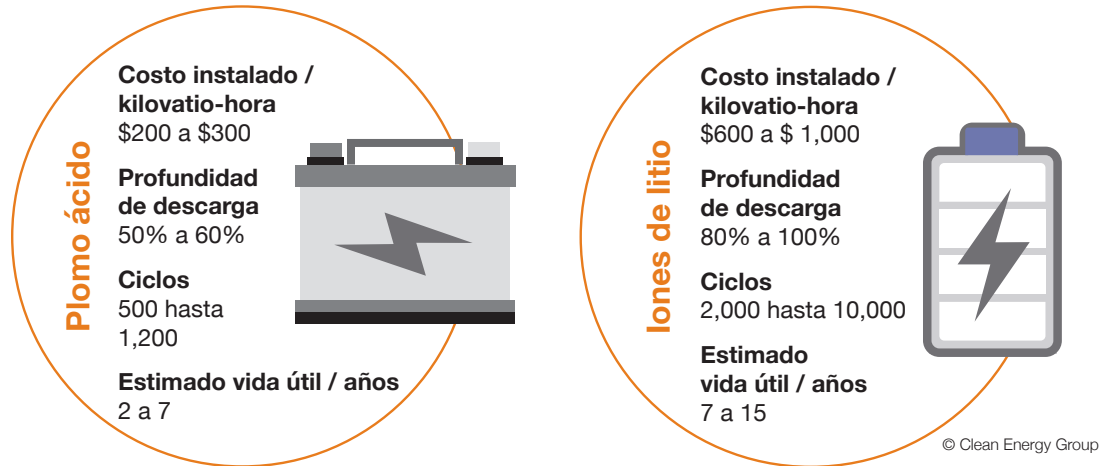
PROFUNDIDAD DE DESCARGA: La profundidad de descarga (DOD, por sus siglas en inglés) es una medida de cuánta capacidad de energía se puede descargar de una batería antes de que el rendimiento del sistema se vea afectado negativamente. La DOD máxima para las baterías de plomo-ácido suele ser de alrededor del 50 por ciento de la capacidad, aunque algunas baterías AGM pueden alcanzar una DOD de hasta el 80 por ciento. La descarga de una batería de plomo-ácido por debajo de la clasificación DOD afecta gravemente al rendimiento de la batería y acelera la degradación de la batería, acortando su vida útil. Para un sistema de baterías de 20 kilovatios-hora, una DOD del 50 por ciento representaría una capacidad utilizable de 10 kilovatios-hora. En el caso de las baterías de iones de litio, la DOD suele estar en el rango del 80 al 100 por ciento. Debido a que las baterías de iones de litio tienen una clasificación DOD mucho más alta, una batería de iones de litio podría tener de dos a cinco veces más energía utilizable que un sistema de plomo-ácido con la misma capacidad de energía nominal total, por lo que los sistemas de iones de litio pueden ser mucho más rentables.

CICLOS: El ciclo de vida representa la frecuencia con la que se puede cargar y descargar un sistema de baterías antes de que se produzca una degradación significativa. Esencialmente, una carga y descarga completa (hasta la DOD recomendada) representa un ciclo. Cada ciclo tiende a reducir un poco el rendimiento de la batería, hasta que la batería llega al final de su vida útil. El ciclo de vida de una batería varía en función de su química. Un sistema de almacenamiento de iones de litio suele durar de 2.000 a 10.000 ciclos (por ejemplo, la batería Enphase IQ garantiza 6.000 ciclos, la batería sonnen eco garantiza 10.000 ciclos). Las baterías de plomo-ácido, por otro lado, tienden a durar entre 500 y 1.200 ciclos.

Sistema de baterías SimpliPhi de 56 kilovatios-hora en los Apartamentos Maycroft en Washington, DC.

Cortesía de SimpliPhi Power



P7 FIGURA 1: **Systemas de baterías de plomo-ácido frente a iones de litio**

VIDA ÚTIL PREVISTA: La vida útil de un sistema de baterías representa cuánto tiempo pueden durar las baterías antes de que se degraden hasta el punto de que el sistema ya no pueda servir eficazmente para su propósito previsto.² La duración de una batería depende en gran medida de cómo se opere; por ejemplo, si una batería se cicla una vez al día, una batería de plomo-ácido puede durar no más de dos años, mientras que una batería de iones de litio podría durar más de 15 años antes de necesitar ser reemplazada. La garantía de la batería suele ser indicativa de la duración del sistema. Las garantías suelen especificar el número de ciclos (o rendimiento de energía) y los años naturales. Las garantías de iones de litio suelen ser de 10 a 15 años, en algunos casos más, mientras que las garantías de las baterías de plomo-ácido suelen oscilar entre dos y cinco años. *Consulte la Pregunta 10: ¿Cuánto dura un sistema solar+almacenamiento?*

En general, las baterías de plomo-ácido pueden servir como una opción rentable para sistemas que no experimentarán mucha carga y descarga, como los sistemas diseñados principalmente para energía de respaldo. Para aplicaciones que implican ciclos más frecuentes, las baterías de iones de litio pueden ser más adecuadas.

Otras opciones

Las baterías de iones de litio y plomo-ácido dominan en gran medida el mercado de la energía solar+almacenamiento en la actualidad, pero ciertamente hay otros tipos de opciones de almacenamiento disponibles. Algunos de los principales contendientes para el almacenamiento de energía incluyen baterías a base de sodio (potencialmente menos costosas que las de iones de litio), baterías de metal-aire (abundantes materiales de origen), baterías de estado sólido (alta densidad de energía) y baterías de flujo (mayor duración, pocos problemas de seguridad, sin degradación del rendimiento). Luego, hay alternativas más novedosas a gran escala, como el almacenamiento térmico, el almacenamiento de aire comprimido y el almacenamiento de energía por gravedad, donde se alzan trenes o bloques gigantes para almacenar energía y se bajan para generarla.³

Si bien se están implementando muchos tipos de baterías en aplicaciones del mundo real, ninguna de estas tecnologías alternativas ha podido lograr las mismas economías de escala y descensos de precios que las tecnologías de iones de litio durante la última década. Eso ciertamente podría cambiar, pero es probable que tome tiempo para que el próximo “gran avance” se convierta en una opción de almacenamiento confiable y ampliamente disponible.

Sistema de baterías de plomo-ácido de 16 kilovatios-hora en la Oficina Forestal de Cimarron en Nuevo México.

Cortesía de M. Gaiser, Oficina de Energía del Estado de Nuevo México



P7 NOTAS FINALES

- 1 Julian Spector, “What Would It Take for the US to Become an Energy Storage Manufacturing Powerhouse?” [¿Qué se necesitaría para que Estados Unidos se convirtiera en una potencia manufacturera de almacenamiento de energía?], *GTM*², 13 de enero de 2020, <https://www.greentechmedia.com/articles/read/can-the-us-claim-dominance-in-energy-storage-manufacturing>.
- 2 El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE, por sus siglas en inglés) define el final de la vida útil de una batería como el 80 por ciento de su capacidad nominal original (por ejemplo, una batería de 10 kilovatios-hora habrá llegado al final de su vida útil una vez que se degrade a una capacidad de 8 kilovatios-hora), aunque muchos fabricantes de baterías de iones de litio definen el final de la vida útil como el 70 por ciento o incluso el 60 por ciento de la capacidad nominal original de la batería. Es importante leer la información de la garantía de una batería para determinar cómo se define el final de la vida útil.
- 3 Claudia Lee, “We rely heavily on lithium batteries – but there’s a growing array of alternatives?” [Dependemos en gran medida de las baterías de litio, pero cada vez hay más alternativas], *BBC*, 19 de marzo de 2024, <https://www.bbc.com/future/article/20240319-the-most-sustainable-alternatives-to-lithium-batteries> y Susan Taylor, “Can anything topple lithium-ion? [¿Hay algo que pueda derribar a los iones de litio?], *PV Magazine*, 18 de marzo de 2024, <https://pv-magazine-usa.com/2024/03/18/can-anything-topple-lithium-ion>.

PREGUNTA 8

¿Qué tamaño de batería necesito?

TEMAS TRATADOS: explicación de la clasificación de potencia de la batería, la capacidad de energía y las especificaciones de dimensionamiento de duración; consideraciones de dimensionamiento para aplicaciones de energía de respaldo, gestión de la demanda y autoconsumo solar; requisitos de espacio físico para sistemas de baterías



Antes de dimensionar un sistema de baterías, tenga en cuenta que las baterías tienen dos características clave: potencia nominal y capacidad energética.

La potencia nominal (o salida nominal) de una batería representa la velocidad máxima a la que la batería puede cargar o descargar energía. Si consideramos el almacenamiento de energía en términos de almacenamiento de agua, la potencia nominal representa la rapidez con la que se puede llenar o drenar una bañera. La potencia nominal de una batería generalmente se da en kilovatios (1.000 vatios) o megavatios (1.000 kilovatios) para sistemas más grandes. Si quisiera alimentar 200 bombillas que requirieran 15 vatios de electricidad cada una, necesitaría una batería con una potencia nominal de al menos 3.000 vatios ($200 \times 15 \text{ vatios} = 3.000 \text{ vatios}$) o 3 kilovatios.

El proceso de determinar el tamaño del sistema de almacenamiento en baterías más adecuado para un proyecto depende de cómo se utilizará el sistema a lo largo del tiempo.

La capacidad energética de un sistema de batería representa la cantidad total de energía que la batería puede almacenar o descargar con el tiempo. En el ejemplo de almacenamiento de agua, la capacidad energética representa la cantidad de agua que puede contener la bañera. La capacidad energética generalmente se da en kilovatios-hora.¹ Por lo tanto, para mantener esas 200 bombillas encendidas durante cuatro horas, necesitaría una batería con una capacidad energética de al menos 12 kilovatios-hora ($3 \text{ kilovatios} \times 4 \text{ horas} = 12 \text{ kilovatios-hora}$). A veces, la capacidad energética de una batería está representada por la cantidad de tiempo que se puede descargar a su potencia nominal máxima. En este caso, el sistema de batería de 3 kilovatios/12 kilovatios-hora también puede describirse como un sistema de 3 kilovatios/4 horas de duración.

Es importante tener en cuenta que una batería de cuatro horas de duración puede alimentar dispositivos durante más de cuatro horas, según las cargas que está soportando. Si la potencia necesaria para soportar las cargas es inferior a la potencia nominal máxima del sistema, durará más. Si solo se necesitan 2 kilovatios de energía para mantener las luces encendidas, un sistema de 12 kilovatios-hora podría mantener las luces encendidas durante seis horas. Si solamente se necesitara 1 kilovatio para mantener las luces encendidas, el sistema de batería podría mantener las luces encendidas durante 12 horas.



Sistema de almacenamiento en baterías sonnen en un apartamento en Soleil Lofts en Utah.

Cortesía de sonnen

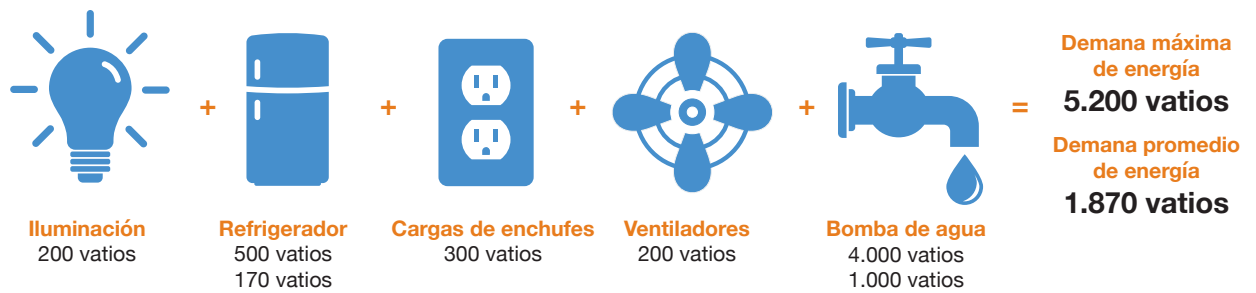
¿Cómo dimensionar un sistema de batería?

El proceso de determinar el tamaño del sistema de almacenamiento de batería más adecuado para un proyecto depende de cómo se utilizará el sistema a lo largo del tiempo. Esto se debe a que dimensionar un sistema para administrar la demanda de energía o maximizar el autoconsumo solar es un proceso muy diferente al dimensionar un sistema de batería para proporcionar energía de respaldo.

Los sistemas de almacenamiento se pueden diseñar para hacer muchas cosas diferentes. En esta sección, nos enfocaremos en las consideraciones de tamaño para tres aplicaciones comunes: energía de respaldo, gestión de la demanda, y autoconsumo solar.

ENERGÍA DE RESPALDO: La resiliencia energética es el objetivo principal de la mayoría de los proyectos de almacenamiento en baterías residenciales y basados en la comunidad (como centros comunitarios, instituciones de fe y las instituciones de primera línea de respuesta), y también de un número cada vez mayor de proyectos comerciales. El dimensionamiento de los sistemas para la energía de respaldo depende de dos factores principales: cargas críticas y duración de los cortes de energía. Las cargas críticas representan todas las cargas eléctricas que deben ser soportadas por el sistema de respaldo, que podrían ser una casa o instalación completa, pero más comúnmente es un subconjunto de cargas seleccionadas para minimizar el costo del sistema de energía de respaldo. Para determinar la potencia nominal de un sistema de batería de respaldo, deben sumarse las potencias nominales máximas de todas las cargas críticas, como se muestra en la P8, Figura 1 (p. 60). Esto asegurará que la batería tenga la cantidad suficiente de kilovatios disponibles para manejar el peor de los casos cuando todas las cargas estén funcionando al mismo tiempo a la máxima potencia. Una consideración importante es que la potencia nominal inicial para algunos dispositivos, como los refrigeradores y las bombas de agua, puede ser considerablemente más alta que la potencia promedio que se necesita para mantener a los dispositivos funcionando. Lo ideal es dimensionar un sistema de

P8 FIGURA 1: Ejemplos de cargas críticas para calcular la capacidad energética



respaldo para satisfacer los requisitos de potencia nominal inicial para todas las cargas críticas a menos que se implemente una estrategia para evitar este escenario de alta demanda, como un inicio en fases para los dispositivos críticos.

La capacidad energética (duración) del sistema de batería se puede determinar multiplicando las necesidades promedio de energía de las cargas críticas (capacidad nominal para mantener a todos los dispositivos funcionando) durante un tiempo específico. Como se muestra en la P8, Figura 1, si la demanda de potencia máxima para las cargas críticas es de 5.200 vatios (5,2 kilovatios) y la demanda de potencia promedio es de 1.870 vatios (1,87 kilovatios), un sistema de baterías de 11 kilovatios-hora (1,87 kilovatios x 6 horas = 11,2 kilovatios-hora) con una potencia nominal de al menos 5,2 kilovatios podría mantener las cargas en funcionamiento por seis horas. Como referencia, un sistema Tesla Powerwall 2 tiene una potencia nominal máxima de 7 kilovatios, una potencia nominal continua de 5 kilovatios y una capacidad energética de 13,5 kilovatios-hora.

La disponibilidad de energía solar puede compensar algunas de las cargas críticas o recargar el sistema de batería y así aumentar el tiempo que una batería puede alimentar cargas durante un corte de energía, aunque la energía solar no siempre estará disponible. Para un sistema de energía solar+almacenamiento aunque el sistema de batería se descargue completamente durante un corte de energía, podrá volver a suministrar energía de respaldo cuando haya sufi-

ciente energía solar disponible para recargar las baterías. La incorporación de otras fuentes de generación, como los sistemas combinados de calefacción y energía, las celdas de combustible o los generadores tradicionales, pueden aumentar el tiempo en que se soportan las cargas críticas y deben tomarse en cuenta al considerar el dimensionamiento de la energía de respaldo. Consulte la *Pregunta 2: ¿Es la tecnología de energía solar+almacenamiento una solución eficaz de energía de respaldo?*

GESTIÓN DE LA DEMANDA: La gestión de la demanda ha sido uno de los principales impulsores para los clientes comerciales que instalan el almacenamiento en baterías. A los clientes con un componente de cargo por demanda en sus facturas de electricidad, común para los clientes comerciales y poco común para los clientes residenciales, se les cobra según la tarifa máxima por la electricidad que consumen (medida en kilovatios), junto

con los cargos típicos de consumo de energía (medidos en kilovatios-hora).² Con el almacenamiento en baterías, un cliente puede descargar la energía almacenada durante los momentos en que una instalación está consumiendo electricidad a su tasa más alta o durante los momentos

Con el almacenamiento en baterías, un cliente puede descargar la energía almacenada durante los momentos en que una instalación está consumiendo electricidad a su tasa más alta o durante los momentos en que los precios por demanda son más altos.

en que los precios por demanda son más altos. Este proceso de utilizar el almacenamiento para reducir la demanda a menudo se denomina reducción de la demanda máxima. Para optimizar la gestión de la demanda, una batería debe tener un tamaño que reduzca los kilovatios máximos de demanda (potencia nominal) durante un período de tiempo más corto (duración/capacidad energética) para maximizar los ahorros y minimizar el costo del sistema de batería. Las instalaciones con picos en demanda de energía durante períodos cortos de tiempo, como aquellas que operan dispositivos con un requisito de alta potencia inicial, tendrán el mejor caso económico para reducir las facturas con el almacenamiento en baterías. La situación ideal ocurre cuando un sistema de batería con una alta relación de potencia a capacidad energética puede reducir efectivamente los picos de demanda.

Para maximizar el autoconsumo solar, un sistema de baterías debe dimensionarse para capturar la mayor cantidad posible de exceso de generación solar. Esta energía almacenada se puede utilizar más tarde, cuando la generación solar es menor o inexistente.

AUTOCONSUMO DE ENERGÍA SOLAR: Hay una variedad de razones por las cuales puede ser el mejor interés económico de un propietario maximizar la cantidad de energía solar consumida directamente en el lugar y minimizar la cantidad de generación solar que se envía a la red. Bajo ciertas políticas de energía solar, los créditos por la energía solar exportada pueden valer significativamente menos que los ahorros en facturas logrados mediante la compensación directa del consumo de electricidad de la red. En otros casos, las exportaciones de energía solar a la red pueden no estar permitidas en lo absoluto, por lo que cualquier generación mayor que la cantidad de electricidad utilizada directamente por la propiedad no tendría ningún valor económico.

Para maximizar el autoconsumo de energía solar, se debe dimensionar un sistema de baterías para capturar la mayor cantidad posible de energía solar generada. Esta energía almacenada se puede utilizar más tarde cuando la generación solar sea menor o inexistente. La potencia nominal del sistema de almacenamiento debería ser suficiente para capturar de forma rentable la energía solar que ingresa a la batería, que puede ser la potencia nominal total en kilovatios del sistema solar. La capacidad de energía debe dimensionarse en función de la economía de almacenamiento de energía frente al costo de la capacidad de almacenamiento adicional, es decir, el valor de los kilovatios-hora solares adicionales consumidos directamente durante la vida útil del sistema de almacenamiento, frente al costo inicial de comprar kilovatios-hora adicionales del sistema de almacenamiento. El dimensionamiento del sistema de almacenamiento seguiría un proceso similar para las aplicaciones de cambio de tiempo solar, también conocido como arbitraje de energía, donde la energía solar generada durante períodos de precios bajos se almacena para ser utilizada en momentos en que los precios de la electricidad son más altos.

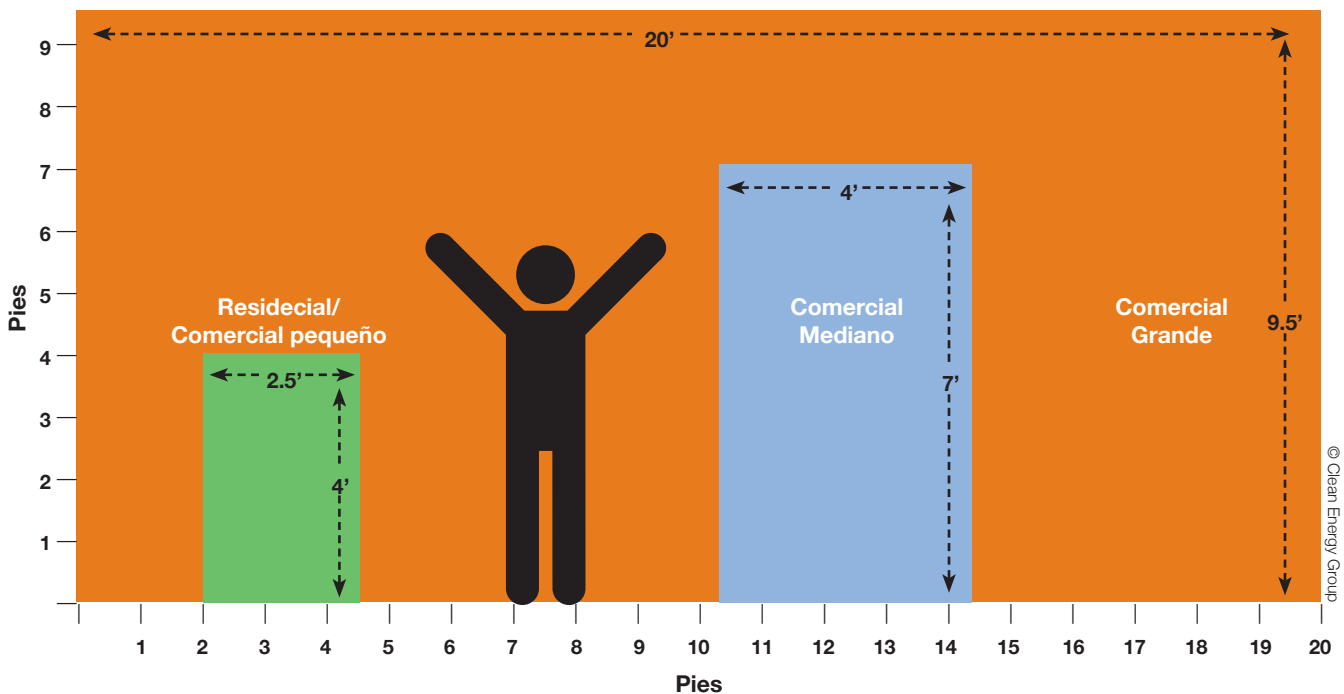
Cuando se trata de desarrollar proyectos de energía solar+almacenamiento, a menudo el tamaño ideal de un sistema de baterías depende de equilibrar múltiples factores, como los costos del sistema, los beneficios económicos y los beneficios de resiliencia. El tamaño del sistema también puede depender de cuáles sistemas estén disponibles y sean más rentables para cada proyecto. Una herramienta gratuita que puede ser útil como un primer paso para dimensionar un sistema de batería es REopt Lite (<https://reopt.nrel.gov/tool>), desarrollada por el Laboratorio Nacional de Energía Renovable.

¿Cuánto espacio necesito para una batería?

Otra consideración clave para determinar el tamaño correcto del sistema de batería para un proyecto, es la cantidad de espacio físico disponible para instalar una batería. Esto es particularmente importante cuando las posibles ubicaciones para las baterías estarán limitadas al espacio de una propiedad existente, ya sea en el interior o el exterior.

Los diferentes productos de almacenamiento de baterías tienen distintos requisitos de espacio. En general, los sistemas de baterías de iones de litio residenciales y comerciales pequeños tienen un tamaño similar al de un refrigerador de dormitorio o un refrigerador de tamaño completo muy delgado. Los sistemas comerciales de baterías de iones de litio más grandes tienden a tener el tamaño de un refrigerador grande, dependiendo de su capacidad energética. Los sistemas de baterías más grandes, a escala de megavatios, y sus componentes asociados, a menudo se encuentran en contenedores de transporte de 20 pies o 40 pies. (Consulte la P8, Figura 2.)

P8 FIGURA 2: ¿Qué tamaño tiene un sistema de almacenamiento de batería de iones de litio?



Los sistemas de almacenamiento en baterías vienen en diferentes formas y tamaños, dependiendo de la química de las baterías y el fabricante del sistema. En general, los sistemas de almacenamiento residenciales y comerciales pequeños tienen un tamaño similar al de un refrigerador de dormitorio o un refrigerador de tamaño completo muy delgado (rectángulo verde.) Los sistemas comerciales medianos tienen un tamaño similar al de un refrigerador comercial (rectángulo azul). Los sistemas grandes de escala de megavatios a menudo se alojan en un contenedor de transporte de 20 o 40 pies (rectángulo anaranjado).

Los sistemas de plomo-ácido tienden a ocupar más espacio, una típica batería de plomo-ácido de alrededor de un kilovatio-hora ocupa aproximadamente el mismo espacio que una caja de zapatos, lo que resulta en un sistema de batería completo que requiere entre 20 y 50 por ciento más espacio que un sistema comparable de batería de iones de litio. (Consulte la P8, Tabla 1.)

Además del tamaño físico del sistema de batería, se deben considerar los requisitos de espacio de construcción y permisos, como distancias de espacio libre y medidas de seguridad, al determinar los requisitos de espacio mínimo para un sistema de batería.

P8 TABLA 1: **Comparación de los requisitos de espacio de batería en diversas químicas y potencias nominales/capacidad energética del sistema**

Tipo de sistema	Marca	Potencia nominal (kilovatios)	Capacidad energética (kilovatios-hora)	Altura (pies)	Ancho (pies)	Profundidad (pies)	Espacio total (pies cúbicos)
Batería de plomo ácido sencilla	Trojan Solar SAES 12 105 12V AES AGM ^a	0,5	1,3	0,8	0,6	1,1	0,5
Batería de plomo ácido residencial	Trojan Solaress 9.84 ^b	8	9,5	2	3	1,8	10,8
Iones de litio residencial	Batería Enphase IQ 5P ^c	3,8	5	3,2	0,6	1,8	3,6
Iones de litio residencial	Franklin Home Power ^d	5	13,6	2,6	1,8	0,5	2,5
Iones de litio residencial	Tesla Powerwall 2.0 ^e	5	13,5	3,8	2,5	0,5	4,5
Residencial lithium-ion	SunPower SunVault 26 ^f	6,8	24	5,4	2,2	1,2	14,4
Iones de litio comercial	Samsung SDI E3-R256 ^g	128	256	9	3	2,5	68
Iones de litio comercial	LG TR1300 ^h	92	328	5,7	3,4	3,9	77
Iones de litio de gran escala	Tesla Megapack ⁱ	979	3.854	9,2	28,9	5,4	1.436

a "Solar SAES 12 105 Data Sheet. [Hoja de datos de Solar SAES 12 105], Trojan Battery Company, 10 de julio de 2023. <https://assets.ctfassets.net/nh2mdhlonj7m/2v6mQ58e-3SPBXJtCMEVPs1/1f05f49741c417c717e4e3ba59c77ee7/202307-SAES-12-105-Datasheet-WEB.pdf>.

b "Solaress 9.84 Residential Energy Storage Solution." [Solución de Almacenamiento de energía solar residencial 9.84] Trojan Battery Company, 24 de octubre de 2019, https://www.trojanbatterysales.com/pdf/TBS_Solaress_9.84.pdf.

c "IQ Battery 5P Datasheet." [Hoja de datos de Batería IQ 5P], Enphase Energy, 7 de noviembre de 2023, <https://enphase.com/download/iq-battery-5p-data-sheet>.

d "Franklin Home Power." [Energía residencial Franklin] FranklinWH, 25 de mayo 2023, <https://www.franklinwh.com/document/franklin-home-power-v11-datasheet>.

e "Powerwall Datasheet." [Hoja de datos de la batería Powerwall] Tesla, 11 de junio de 2019, https://www.tesla.com/sites/default/files/pdfs/powerwall/Powerwall%202_AC_Datasheet_en_northamerica.pdf.

f "SunPower SunVault Energy Storage System (ESS): SunVault 13 and SunVault 26 Datasheet." [Sistema de Almacenamiento de Energía SunPower SunVault: Hoja de datos de SunVault 13 y SunVault 26], SunPower, https://es-media-prod.s3.amazonaws.com/media/components/panels/spec-sheets/SunVault_ESS_datasheet_536812__RevC_orkjBI.pdf, consultado el 15 de marzo de 2024.

g "ESS Batteries by Samsung SDI." [Baterías ESS por Samsung SDI], Samsung SDI, https://www.samsungsdi.com/upload/ess_brochure/201902_Samsung%20SDI%20ESS_EN.pdf, consultado el 15 de marzo de 2024.

h "Rack ERT5422CN201 Specifications." [Especificaciones del rack ERT5422CN201], LG Energy Solution, [https://www.lgessbattery.com/ImageServlet?imgPath=20210427141654562\[20210427141654563\].pdf&imageType=PRODUCT](https://www.lgessbattery.com/ImageServlet?imgPath=20210427141654562[20210427141654563].pdf&imageType=PRODUCT), consultado el 15 de marzo de 2024.

i "Order Megapack," Tesla, <https://www.tesla.com/megapack/design>, consultado el 15 de marzo de 2024.

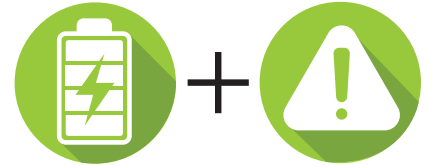
P8 NOTAS FINALES

- Las clasificaciones de capacidad de energía de la batería a veces se dan en amperios-hora en lugar de kilovatios-hora. Los sistemas de baterías de plomo-ácido se clasifican comúnmente en amperios-hora. Los amperios-hora se deben multiplicar por el voltaje nominal de la batería para convertir el valor nominal a kilovatios-hora, por lo que una batería de 100 amperios-hora/12 voltios tendría una capacidad energética de 1.200 vatios-hora o 1,2 kilovatios-hora.
- Para más información sobre los cargos por demanda y el almacenamiento de energía, consulte: "An Introduction to Demand Charges," [Una introducción a los cargos por demanda], de Clean Energy Group y Laboratorio Nacional de Energía Renovable, <https://www.cleanenergygroup.org/wp-content/uploads/Demand-Charge-Fact-Sheet.pdf>.

PREGUNTA 9

¿Es seguro el almacenamiento en baterías?

TEMAS CUBIERTOS: descripción general de los riesgos de seguridad del almacenamiento en baterías y consideraciones de ubicación; fugas térmicas; riesgos de seguridad cuando ocurre un incendio; recursos con más información sobre los códigos recomendados de seguridad contra incendios, procedimientos y las mejores prácticas



Se ha comprobado ampliamente que las tecnologías de baterías de fabricantes de confianza son seguras para el almacenamiento de energía en el lugar cuando se instalan por profesionales con experiencia que siguen los procedimientos recomendados.

Al igual que con cualquier tecnología energética, existen ciertas inquietudes de seguridad que deben abordarse al considerar instalar un sistema de almacenamiento en baterías. Sin embargo, según numerosos estudios y decenas de miles de implementaciones, se ha descubierto que las tecnologías de baterías de fabricantes confiables son seguras para aplicaciones de almacenamiento de energía en el lugar cuando son instaladas por profesionales con experiencia que siguen los procedimientos recomendados. Los tipos de tecnologías actuales de baterías que se implementan comúnmente en las instalaciones de almacenamiento de energía no emiten gases nocivos durante su funcionamiento y presentan pocos riesgos graves al implementarse las medidas de seguridad adecuadas durante el proceso de instalación.

La seguridad del almacenamiento en baterías comienza con la ubicación adecuada del sistema en función de una evaluación de los peligros potenciales, como condiciones climáticas extremas o fenómenos meteorológicos. Las baterías ubicadas en climas más cálidos pueden requerir medidas de enfriamiento adicionales. Las baterías ubicadas en áreas propensas a inundaciones deben instalarse en ubicaciones elevadas por encima del plano de inundación o en contenedores impermeables. Las consideraciones de ubicación también deben garantizar un acceso adecuado y claramente marcado al sistema de batería y equipo relacionado, en caso de incendio u otras emergencias en las que el sistema deba desactivarse para proteger la seguridad de los socorristas.

Seguridad contra incendios

La mayoría de las preocupaciones de seguridad asociadas con los sistemas de almacenamiento en baterías están relacionadas con los riesgos de incendio. Si bien los incendios de los sistemas de almacenamiento en baterías son cada vez más raros, suceden de vez en cuando. A nivel mundial, la Asociación Internacional de Bomberos (International Association of Fire Fighters) ha catalogado 141 eventos de incendios de sistemas de almacenamiento de energía en la última década, la mayoría de ellos en Europa y Asia.¹ Alrededor del 40 por ciento de estos incendios involucraron a sistemas de baterías residenciales.

El riesgo de incendio de un sistema de almacenamiento en baterías se puede clasificar en dos categorías: 1) el riesgo de que un sistema de almacenamiento se encienda y pueda iniciar un incendio y 2) el riesgo para las personas en el sitio y quienes responden cuando ocurre un incendio en una instalación con almacenamiento en baterías. La gravedad de ambos riesgos a menudo tiene menos que ver con la química específica del almacenamiento de energía que se utiliza (aunque esto puede ser un factor) y más con las medidas de contención, extinción y seguridad de incendios que se hayan implementado. Se han diseñado códigos y normas para las baterías a fin de minimizar los riesgos de seguridad, al brindar orientación sobre las mejores prácticas al ubicar, instalar, operar y mantener un sistema de almacenamiento.

INICIO DE UN INCENDIO: La mayoría de los incendios causados por baterías se deben algún tipo de error de diseño, fabricación o instalación. La producción defectuosa de la batería puede provocar que los sistemas de almacenamiento de energía se sobrecalienten, resultando en una falla del sistema conocida como “fuga térmica”. La fuga térmica básicamente significa que la batería no puede eliminar el calor tan rápido como se genera. En estas condiciones, la temperatura puede aumentar hasta el punto en que la celda de la batería se incendia. Si no se contiene adecuadamente, la fuga térmica puede propagarse a las celdas cercanas, lo que ocasiona en una falla del sistema en cascada y una mayor gravedad del fuego.

Ciertas tecnologías de baterías conllevan un mayor riesgo de fuga térmica debido a la composición química subyacente de sus células. Por ejemplo, los sistemas de baterías de iones de litio que utilizan celdas de níquel manganeso-cobalto (NMC) conllevan un mayor riesgo de fuga térmica que las celdas de batería de litio-hierro-fosfato (LFP) (Consulte la *Pregunta 7: ¿Qué diferentes tipos de baterías están disponibles (y cuál es la adecuada para mí)?* Muchas químicas de batería sin litio tienen poco o ningún riesgo de fuga térmica. Incluso en las químicas que conllevan algún riesgo de fuga térmica, el riesgo se puede minimizar mediante el diseño adecuado del sistema y la implementación de sistemas de detección temprana y apagado de la batería. Es importante investigar cualquier producto de batería que se esté considerando para un proyecto y así asegurarse de que el fabricante tenga un historial probado de implementaciones, para verificar que la tecnología de la batería haya sido completamente probada y certificada, y para asegurarse de que la batería esté respaldada por una garantía confiable. Un ejemplo de esto es verificar que la tecnología de batería que se está considerando haya recibido la certificación UL.² Igual de importante es trabajar con un desarrollador con experiencia para instalar el sistema. Antes de contratar a un desarrollador, asegúrese de abordar cualquier preocupación relacionada a la seguridad ante incendios y las medidas que se tomarán para minimizar los riesgos y garantizar la seguridad si se produce un evento.

CUANDO OCURRE UN INCENDIO: En el 2019, ocurrió un incendio en una instalación grande de almacenamiento de baterías en Arizona.³ Esta fue la primera instancia documentada de un incendio grave en una instalación de baterías de iones de litio en los Estados Unidos. Varios bomberos resultaron heridos por una explosión en el sitio cuando respondieron al incidente. Una extensa investigación sobre el evento reveló que, aunque el incendio comenzó debido a una celda de batería defectuosa, las lesiones podrían haberse evitado si se hubieran implementado algunas medidas de seguridad adicionales, por ejemplo, sensores para detectar fallas en el sistema de la batería, ventilación para eliminar la acumulación de gases explosivos liberados durante la combustión y un entrenamiento más extenso de los socorristas.⁴

La mejor manera de minimizar y prevenir lesiones cuando ocurren incendios en sitios con sistemas de almacenamiento en baterías es incorporar dispositivos de monitoreo que detecten riesgos de incendio y alerten al personal en el lugar.

P9 FIGURA 1: **Medidas de seguridad para el almacenamiento en baterías**

Peligros ambientales

La seguridad del almacenamiento en batería comienza con la ubicación adecuada para garantizar que el sistema esté aislado de posibles peligros ambientales, como condiciones climáticas extremas e inundaciones.



Controles de temperatura

Algunos sistemas de almacenamiento pueden requerir sistemas de calefacción y/o refrigeración dedicados para regular la temperatura y funcionar correctamente.



Códigos y normas

Siga los códigos y las normas más actualizados e implemente las mejores prácticas de seguridad al instalar un sistema de almacenamiento.



Conciencia

Las áreas que contienen sistemas de almacenamiento en baterías deben estar claramente marcadas y el todo el personal debe estar informado de cualquier posible peligro en materia de seguridad. Los sistemas de advertencia deben alertar inmediatamente al personal del sitio y de primeros auxilios ante cualquier falla del sistema.



Ventilación

Los sistemas de batería contenidos en áreas cerradas pueden requerir ventilación para evitar la acumulación de gases explosivos durante una falla del sistema.



Supresión de incendios

Se debe instalar un equipo de extinción de incendios eficaz por si ocurre un incendio. Los socorristas locales y regionales deben recibir información sobre los peligros potenciales y el entrenamiento pertinente.

La mayoría de los expertos en seguridad y de la industria están de acuerdo en que la mejor manera de minimizar y prevenir lesiones cuando ocurren incendios en sitios con sistemas de almacenamiento en baterías es incorporar dispositivos de monitoreo que detecten riesgos de incendio y alerten al personal en el sitio junto con sistemas de supresión y ventilación para minimizar el riesgo cuando lleguen los socorristas. En respuesta a incendios producidos por baterías en instalaciones de empresas de servicios en Nueva York, un grupo de trabajo enfocado en la seguridad contra incendios del estado recomendó diversas acciones para minimizar los riesgos, incluyendo una mayor supervisión, inspecciones de seguridad más frecuentes y la instalación de más señalizaciones para indicar la presencia de un sistema de almacenamiento de energía en el lugar.⁵ Dependiendo del tamaño, la ubicación y el tipo de sistema de batería que se instale, se pueden recomendar sistemas de ventilación especializados o en algunos casos requeridos, como parte de una instalación de almacenamiento de energía. Es posible que los sistemas más pequeños y los instalados al aire libre no necesariamente requieran ventilación adicional. (Consulte la P9 Figura 1)

En 2016, la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (NFPA, por sus siglas en inglés) comenzó a desarrollar una norma para la instalación de tecnologías de almacenamiento de energía (NFPA 855).⁶ El objetivo del documento de orientación es establecer un estándar de las medidas de seguridad contra incendios y establecer requisitos mínimos para mitigar los peligros asociados con las instalaciones de almacenamiento de energía. Entre los temas tratados por NFPA 855 se encuentran métodos seguros para enfriar y extinguir incendios en sistemas de almacenamiento de energía. Según la norma, se ha descubierto que el agua es un “agente extintor eficaz” para la mayoría de los incendios de almacenamiento de energía, incluyendo las químicas de baterías de iones de litio.⁷



Estación de bomberos en Humacao, Puerto Rico, con un sistema fotovoltaica de 20.52 kW y un Tesla Powerwall (54 kW).

Cortesía de Solar Responders

P9 NOTAS FINALES

- 1 Alex Schraiber, et al., "Considerations for Fire Service Response to Residential Battery Energy Storage System Incidents," [Consideraciones para la respuesta de los servicios de lucha contra incendios a los incidentes en los sistemas residenciales de almacenamiento de energía en baterías], *International Association of Fire Fighters*, 44 de diciembre de 2023, https://www.iaff.org/wp-content/uploads/IAFF_DOE_ResidentialESSConsiderations_Final.pdf.
- 2 Las certificaciones UL, como UL 9540: Estándar para sistemas y equipos de almacenamiento de energía, y UL 9540A: Método de prueba para evaluar la propagación de incendios por fuga térmica, incluyen requisitos de prueba para verificar que un producto de almacenamiento de energía cumple con ciertos umbrales mínimos de estándares de seguridad. Consulte "UL 9540A Test Method," [Método de prueba UL 9540A], *UL Solutions*, <https://www.ul.com/services/ul-9540a-test-method> (consultado el 18 de marzo de 2024).
- 3 Julian Spector, "The Arizona Battery Explosion Is Changing Conventional Wisdom on Safety," [La explosión de la batería de Arizona está cambiando la sabiduría convencional sobre la seguridad], *GTM*, 10 de octubre de 2019, <https://www.greentechmedia.com/articles/read/arizona-battery-explosion-conventional-wisdom-safety>.
- 4 DNV GL Energy Insights USA, Inc., "McMicken Battery Energy Storage System Event Technical Analysis and Recommendations," [Recomendaciones y análisis técnicos de eventos del sistema de almacenamiento de energía de batería McMicken], *Servicio Público de Arizona*, 18 de julio de 2020, <https://www.aps.com/-/media/APS/APSCOM-PDFs/About/Our-Company/Newsroom/McMickenFinalTechnicalReport.aspx?la=en&hash=50335FB5098D9858BFD276C40FA54FCE>.
- 5 "New York's Inter-Agency Fire Safety Working Group," [Grupo de trabajo interinstitucional en cuestiones de seguridad contra incendios de Nueva York], *New York State Energy Research and Development Authority*, <https://www.nyseda.ny.gov/All-Programs/Energy-Storage-Program/New-York-Inter-Agency-Fire-Safety-Working-Group> (consultado el 18 de marzo de 2024).
- 6 "NFPA 855: Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems," [NFPA 855: Norma para la instalación de sistemas de almacenamiento de energía estacionarios], *National Fire Protection Association*, <https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-855-standard-development/855> (consultado el 18 de marzo de 2024).
- 7 Para obtener información adicional sobre la capacitación en materia de seguridad contra incendios para los socorristas, consulte "Solar+Storage Fire Safety Training: Single and Multifamily Residential," [Capacitación sobre seguridad contra incendios en sistemas de energía solar+almacenamiento: sistemas residenciales de viviendas únicas y multifamiliares], *Clean Energy Group*, 12 de enero de 2021, <https://www.cleanenergygroup.org/webinar/solarstorage-fire-safety-training>.

PREGUNTA 10

¿Cuánto dura un sistema solar+almacenamiento?

TEMAS CUBIERTOS: vida útil estimada y garantías típicas de paneles solares, inversores y baterías



Un sistema de energía solar+almacenamiento consta de tres equipos principales: paneles solares, inversores y baterías. La vida útil de todo el sistema depende de la durabilidad de cada uno de estos tres componentes principales. A lo largo de la vida útil de un sistema solar+almacenamiento, es probable que ciertos componentes deban reemplazarse en diferentes momentos. Por ejemplo, los paneles solares pueden funcionar correctamente durante 25 años o más, pero es posible que sea necesario reemplazar el inversor después de 10 años y la batería a los 15 años. (Consulte la P10, Figura 1, p. 69.)

Comprender las diferentes garantías y expectativas de vida de cada tipo de equipo proporcionará a los propietarios la información necesaria para tomar una decisión sensata sobre el tipo de sistema que desean instalar y planificar financieramente futuras actualizaciones al sistema.

Comprender las diferentes garantías y expectativas de vida de cada tipo de equipo proporcionará a los propietarios la información necesaria para tomar una decisión sensata sobre el tipo de sistema que desean instalar y planificar financieramente futuras actualizaciones al sistema.

Paneles solares

VIDA ÚTIL: Los paneles solares se degradan con el tiempo y producen menos electricidad. La tasa anual de degradación es muy pequeña, con el promedio de la industria por debajo del 1 por ciento. Muchos fabricantes ahora ofrecen paneles solares con tasas de degradación inferiores al 0,5 por ciento anual.¹ Debido a esta degradación, la mayoría de las garantías cubren el producto y su rendimiento por un número determinado de años; sin embargo, incluso después de que la garantía haya expirado, los paneles pueden seguir funcionando.

La vida útil de los paneles solares se mide por la duración de la garantía de rendimiento, que se describe con más detalle en la siguiente sección.

GARANTÍA: Los paneles solares tienen dos tipos diferentes de garantías: producto y rendimiento. La *garantía del producto*, que también se conoce como garantía del equipo o garantía de los materiales, cubre el equipo (los paneles solares) en caso de que haya un defecto o falla del equipo, como un panel defectuoso. La mayoría de las garantías de productos son de 10 a 12 años y solamente unos pocos fabricantes brindan hasta 25 años de cobertura.² Sin embargo, incluso después de que expire la garantía del producto, los paneles pueden seguir funcionando.

Los paneles solares son muy duraderos y la mayoría se somete a pruebas para resistir condiciones climáticas adversas, como granizo y vientos fuertes. Sin embargo, en las áreas muy propensas a eventos climáticos severos, se debe evaluar el beneficio de implementar medidas de diseño adicionales para garantizar la salud a largo plazo de las inversiones en sistemas de energía solar.

Después de 25 años de funcionamiento, la mayoría de los sistemas solares fotovoltaicos seguirán produciendo al menos el 80 por ciento de la energía que generaban cuando se instalaron por primera vez.

Mientras que la garantía de producto se centra en el equipo, una garantía de rendimiento, o garantía de energía, garantiza la producción de electricidad del panel solar, asegurando que los paneles solares mantengan un nivel de producción de electricidad durante un cierto período de tiempo. La mayoría de los fabricantes garantizan que sus paneles seguirán produciendo al menos el 80 por ciento de la energía que tenían cuando se instalaron por primera vez. Por ejemplo, un panel solar con una tasa de degradación promedio del 0,75 por ciento seguirá produciendo el 83,5 por ciento de su potencia nominal original en 25 años.

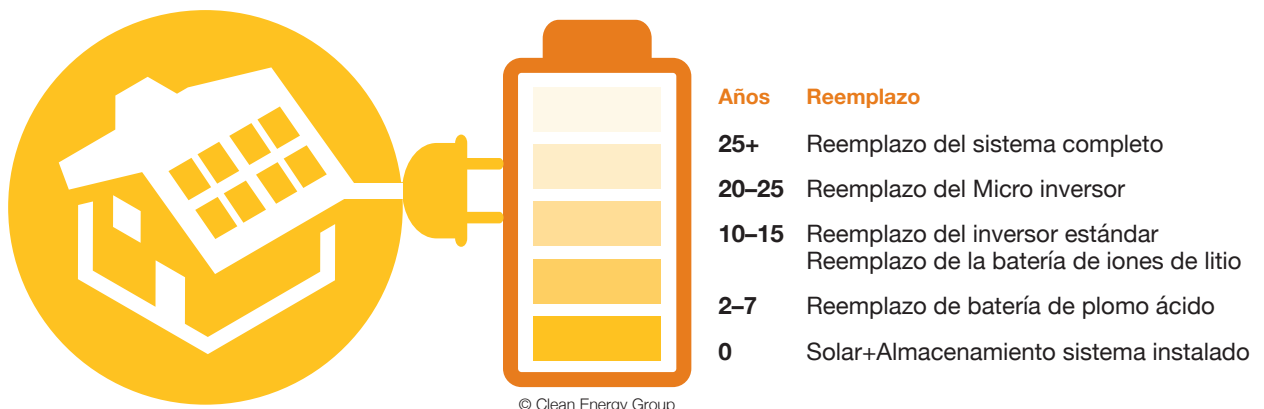
Inversor solar

Los sistemas solares se basan en inversores de cadena o micro inversores. Un inversor de cadena es una sola unidad, instalada dentro o fuera de un edificio, que sirve a varios paneles en el sistema. Para muchos sistemas más pequeños, es posible que solo se requiera un inversor de cadena. Alternativamente, un sistema de micro inversores consta de un pequeño inversor instalado debajo de cada panel solar. (Para leer más sobre cómo funcionan los inversores, consulte la *Pregunta 1: ¿Qué factores debo tener en cuenta al diseñar un sistema de energía solar+almacenamiento?*)

VIDA ÚTIL: Las condiciones ambientales (como el calor y la humedad) y el programa de mantenimiento del sistema pueden afectar la vida útil de un inversor. La vida útil promedio de la mayoría de los inversores de cadena suele ser entre 10 y 15 años, aunque algunos pueden durar 20 años o más. Los micro inversores tienen una vida útil más larga entre 20 y 25 años, similar a la de los paneles solares.

GARANTÍA: Las garantías del inversor se alinean con la vida útil prevista del mismo. Los inversores de cadena tienen, en promedio, una garantía de 10 años y los micro inversores suelen tener

P10 FIGURA 1: **¿Cuánto dura un sistema Solar+Almacenamiento?**



una garantía de hasta 25 años.³ Vale la pena señalar que un sistema que utiliza micro inversores puede ser significativamente más caro que uno que utiliza inversores de cadena.

Almacenamiento en baterías

VIDA ÚTIL: La vida útil promedio de una batería es de cinco a 15 años. Este amplio rango se debe a una multitud de factores, principalmente la química, el uso y el mantenimiento de la batería. Las baterías que se cargan y descargan con frecuencia se degradarán con más rapidez que las que casi no se usan. Por ejemplo, una batería de iones de litio que se usa unas pocas veces al año para resiliencia (es decir, para proporcionar energía de respaldo cuando la electricidad de la red no está disponible) probablemente tendrá una vida útil más larga que una batería que se usa a diario para maximizar el autoconsumo solar o que participa en un programa de la empresa de servicios públicos.

Las baterías de iones de litio generalmente tienen una vida útil más larga (entre 7 y 15 años) que las baterías de ácido-plomo (entre 2 y 7 años) porque las primeras tienen ciclos más eficientes y, por lo tanto, se degradan más lentamente con el tiempo. Consulte la *Pregunta 7: ¿Qué diferentes tipos de baterías están disponibles (y cuál es la adecuada para mí)?*

GARANTÍA: Los fabricantes de baterías ofrecen varios tipos de garantías: años operativos garantizados, ciclos garantizados (o rendimiento energético garantizado) y capacidad garantizada al final del período de garantía. Para las baterías de iones de litio, la garantía suele ser de 10 años de funcionamiento (si bien algunas baterías ofrecen garantías por períodos más prolongados de 12 a 15 años). La garantía para una batería de plomo-ácido suele ser por

Un sistema de almacenamiento de baterías Sunverge de 20 kW en la Clínica Profamilia en San Juan, Puerto Rico.

Cortesía Clean Energy Group



2 a 5 años de funcionamiento. Para los sistemas con baterías de iones de litio que incluyen inversores incorporados, la misma garantía cubre por lo general la batería y el inversor.

Las baterías de iones de litio suelen tener una garantía de entre 4.000 y 15.000 ciclos, y el promedio de la industria es de 6.000 ciclos.⁴ Las baterías de plomo-ácido tienen muchos menos ciclos durante su vida útil, en el orden de 1.200 o menos. El rendimiento energético se puede considerar como la cantidad total de energía que se espera que una batería proporcione a lo largo de su vida útil. Muchos fabricantes de baterías incluyen ahora el rendimiento energético como parte de su garantía, y los modelos comunes de baterías residenciales de iones de litio tienen una garantía de rendimiento promedio de entre 30 y 50 megavatios-hora.

Una garantía de capacidad al final del período de garantía asegura que la capacidad de la batería de almacenar energía no se degradará con demasiada rapidez con la carga y descarga de la batería a lo largo del tiempo. Muchas baterías de iones de litio incluyen una garantía de capacidad al final del período de garantía del 70 por ciento de la capacidad, si bien la garantía puede variar entre el 60 y el 85 por ciento dependiendo del producto. Un sistema de almacenamiento en baterías de 10 kilovatios-hora con una garantía de capacidad al final del período de garantía del 70 por ciento debería retener al menos 7 kilovatios-hora de capacidad de energía utilizable al final del período de garantía.

Tenga en cuenta que la vida útil garantizada de un sistema de baterías finaliza cuando se alcanza el límite de la garantía definido. La garantía para la batería Powerwall 2 de Tesla cubre el sistema de batería por 10 años o por un rendimiento de 37 megavatios-hora, lo que suceda primero. Por lo tanto, una batería Powerwall que se descarga con frecuencia puede llegar al límite de rendimiento y finalizar el período de garantía antes de que pasen 10 años.⁵

P10 NOTAS FINALES

- 1 Para obtener más información sobre la degradación de los paneles solares, consulte "How long do solar panels last? Solar panel lifespan 101," [¿Cuánto duran los paneles solares? La vida útil de los paneles solares 101], *EnergySage*, <https://www.energysage.com/solar/how-long-do-solar-panels-last> (consultado el 18 de marzo de 2024).
- 2 "Solar panel warranties: What to know," [Qué debe saber sobre la garantía de un panel solar], *EnergySage*, <https://www.energysage.com/solar/solar-panel-warranties> (consultado el 18 de marzo de 2024).
- 3 "Solar inverter warranties: What's covered?" [¿Qué cubren las garantías de los inversores solares?], *EnergySage*, <https://www.energysage.com/solar/solar-inverter-warranties> (consultado el 18 de marzo de 2024).
- 4 "Everything You Need to Know About Your Solar Battery's Warranty," [Todo lo que necesita saber sobre las garantías de paneles solares], *CNET*, <https://www.cnet.com/home/energy-and-utilities/everything-you-need-to-know-about-your-solar-batterys-warranty> (consultado el 20 de marzo de 2024).
- 5 "Battery warranties: What you need to know," [Lo que necesita saber sobre las garantías de las baterías], *EnergySage*, <https://www.energysage.com/energy-storage/battery-warranties-overview> (consultado el 20 de marzo de 2024).

¿Se puede desarrollar la tecnología de energía solar+almacenamiento para beneficiar a las comunidades de bajos ingresos?

TEMAS CUBIERTOS: resumen de la importancia de los beneficios económicos, de resiliencia y ambientales del sistema de energía solar+almacenamiento para las comunidades de bajos ingresos; concientización y barreras de asequibilidad para la adopción del sistema solar+almacenamiento; estudios de caso de proyectos que benefician a las comunidades de bajos ingresos



Por muchas razones, la implementación de sistemas de energía solar+almacenamiento se debe priorizar en las comunidades de bajos ingresos en primer lugar, no en segunda instancia, como ha sido el caso de otras soluciones de energía limpia y medidas de eficiencia. Las poblaciones de bajos ingresos enfrentan mayores cargas energéticas que otras comunidades, lo que significa que los residentes pagan una mayor proporción de sus ingresos en costos de

Las poblaciones de bajos ingresos enfrentan mayores cargas energéticas que otras comunidades, lo que significa que los residentes pagan una mayor proporción de sus ingresos a los servicios públicos en comparación con los residentes de áreas de ingresos medios o altos.

servicios públicos en comparación con los residentes en áreas de ingresos medios o altos.¹ Las comunidades de ingresos bajos también son más vulnerables a los impactos climáticos adversos y es más probable que estén sujetas a mayores cargas ambientales, como los contaminantes de la industria de combustibles fósiles. Sin embargo, existen barreras para el desarrollo de la energía solar+almacenamiento en comunidades de bajos ingresos que pueden plantear mayores desafíos a los proyectos. Estas barreras se deben abordar para garantizar una distribución más equitativa de los recursos.

La energía solar+almacenamiento puede beneficiar a las comunidades de bajos ingresos de tres formas importantes: desde el aspecto económico, de resiliencia y ambiental.

Beneficios económicos

La energía solar+almacenamiento puede generar beneficios económicos durante todo el año. Los ahorros e ingresos generados por el sistema de energía solar+almacenamiento son especialmente críticos en las comunidades de bajos ingresos, donde los hogares están sometidos a una mayor carga energética y las instalaciones comunitarias a menudo tienen que lidiar con presupuestos reducidos y problemas de capacidad. Los sistemas residenciales instalados en áreas de servicios públicos que tienen programas que apoyan el almacenamiento, como los programas ofrecidos por Green Mountain Power en Vermont (vea el recuadro sobre Programas de almacenamiento de baterías de servicios públicos, en la p. 32) pueden recibir baterías subvencionadas y/o pagos por permitir que el servicio público utilice su batería para servicios de la red. Algunos programas estatales también ofrecen incentivos más altos específicamente para poblaciones de bajos ingresos o médicamente vulnerables (tanto clientes residenciales



Nuevo sistema solar instalado en una estación de bomberos en Yauco, Puerto Rico como parte de un sistema resiliente de energía solar+almacenamiento

Cortesía de Solar Responders

como comerciales). Estos incentivos y flujos de valor pueden hacer que el sistema solar+almacenamiento sea más accesible, en algunos casos compensando la mayor parte o incluso la totalidad del costo de un sistema de baterías. El programa de Soluciones de almacenamiento de energía de Connecticut ofrece incentivos iniciales además de pagos por rendimiento para las instalaciones de sistemas de almacenamiento en baterías. El programa de Connecticut ofrece descuentos en escalas, con mayores montos de incentivos para los proyectos que apoyan a los hogares de bajos ingresos, a centros comunitarios críticos y a la vivienda asequible.² Para los centros comunitarios que prestan servicios a las poblaciones de bajos ingresos, los sistemas de energía solar+almacenamiento con frecuencia pueden reducir los costos en las facturas de electricidad al gestionar la demanda en el sitio.

Beneficios de resiliencia

Las baterías pueden proporcionar horas, o incluso días, de energía en caso de un apagón dependiendo de las cargas que soporta el sistema y si está emparejado con energía solar en el lugar. Con un sistema de energía solar+almacenamiento, las instalaciones críticas pueden evitar impactos negativos importantes durante un corte de energía. Una clínica de salud de California perdió cientos de miles de dólares en medicamentos y vacunas sensibles a temperatura debido a la falta de refrigeración producto de un apagón.³ En Florida, los centros de salud comunitaria informaron pérdidas de hasta USD 300.000 por corte de energía.⁴ Los residentes de bajos ingresos enfrentan impactos desproporcionados cuando ocurren cortes de energía. Los apagones planificados en California en octubre del 2019 dejaron sin energía a la población más vulnerable, incluyendo 300.000 personas con Medi-Cal (un programa de seguro médico para bajos ingresos en California) y 51.000 hogares que dependen de asistencia alimentaria.⁵

Sin energía, la comida que se pierde debido a la falta de refrigeración puede provocar problemas de seguridad alimentaria. Para los residentes médicamente vulnerables, el almacenamiento en baterías podría ser compatible con equipos médicos críticos como concentradores de oxígeno o refrigeración para medicamentos sensibles a la temperatura.

Junto con la energía solar, el almacenamiento en baterías puede alimentar cargas críticas por más tiempo. Un residente en Vermont informó que su sistema de energía solar+almacenamiento alimentó su hogar por 82 horas durante un apagón.⁶ Las instalaciones comunitarias equipadas con energía solar+almacenamiento pueden proporcionar servicios de emergencia a los vecindarios circundantes durante un corte de energía. Un sistema de energía solar+almacenamiento también puede alimentar espacios comunitarios de viviendas asequibles, centros de vida independiente y viviendas para personas mayores, lo que permite a los residentes acceder a energía local y confiable en caso de un apagón para cargar dispositivos médicos, tener acceso a calefacción/refrigeración y almacenar productos perecederos en un refrigerador comunitario. Al equipar estas instalaciones con sistemas confiables de energía solar+almacenamiento, los miembros de la comunidad tienen un recurso de energía de respaldo inestimable durante situaciones de catástrofes.

Beneficios ambientales

La energía solar+almacenamiento compensa las emisiones de gases de efecto invernadero al reducir la dependencia que tiene un edificio a la red eléctrica. Además, puede reducir la

Se deben implementar programas diseñados para mejorar la educación y la adopción para que el almacenamiento en baterías llegue a las comunidades desatendidas y de bajos ingresos.

necesidad de plantas de energía de combustibles fósiles en tiempos de alta demanda de energía, que a menudo se satisface con plantas de energía ineficientes, conocidas como “plantas pico”, y que generalmente se encuentran en comunidades minoritarias y de bajos ingresos.⁷ El almacenamiento en baterías también puede reducir o reemplazar la necesidad de generadores de respaldo diésel o de gas. Actualmente, las instalaciones críticas con un sistema de energía de respaldo probablemente dependen de generadores tradicionales de diésel o gas, que emiten contaminantes tóxicos que contribuyen a la contaminación del

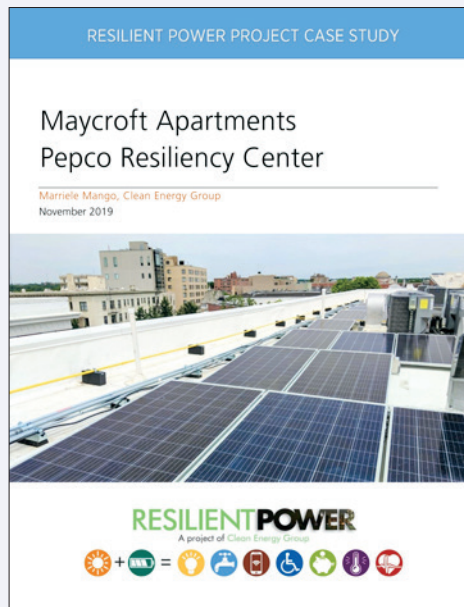
aire y son dañinos para la salud pública. De hecho, un estudio reveló que el 83 por ciento de las intoxicaciones fatales por monóxido de carbono relacionadas con desastres en los Estados Unidos se atribuyeron al uso inadecuado de generadores.⁸ El almacenamiento en baterías puede servir como un recurso de energía de respaldo confiable que no emite contaminantes dañinos.

Barreras para la adopción de energía solar+almacenamiento

La adopción de energía solar+almacenamiento está creciendo rápidamente, pero la mayoría de las comunidades de bajos ingresos siguen sin poder acceder por completo a las tecnologías de energía solar y almacenamiento en baterías. Los principales obstáculos para el desarrollo de la energía Solar+ Almacenamiento en las comunidades de bajos ingresos se relacionan con cuestiones de conocimiento y asequibilidad.

CONOCIMIENTO: La falta de educación y conocimiento sobre el almacenamiento de energía es un gran problema. Por ejemplo, pocos estados ofrecen programas de almacenamiento en baterías que educan y/o incentivan el almacenamiento en baterías para comunidades de bajos ingresos, a diferencia del mercado solar para comunidades de bajos ingresos que se

Estudios de casos de sistemas de energía solar+almacenamiento



Los primeros proyectos en adoptar sistemas de energía solar+almacenamiento proporcionan estudios de casos del mundo real sobre cómo funcionan los sistemas de almacenamiento solar y de baterías en entornos comunitarios. Los proyectos de energía solar+almacenamiento en instalaciones críticas que sirven a comunidades de bajos ingresos, especialmente, brindan información valiosa sobre cómo estos sistemas pueden servir a la comunidad en general, tanto a través de beneficios económicos como de resiliencia. Aquí exploraremos cuatro estudios de caso: viviendas accesibles, escuelas, proveedores de servicios sin fines de lucro y centros comunitarios. Todos los estudios de casos presentados cuentan con el respaldo de Clean Energy Group y/o recibieron fondos del Fondo de Asistencia Técnica de Clean Energy Group.⁹

APARTAMENTOS MAYCROFT, DC: Jubilee Housing ofrece viviendas asequibles y servicios de apoyo a los residentes de bajos y muy bajos ingresos en Washington, DC.¹⁰ El sistema de energía

solar+almacenamiento instalado en los Apartamentos Maycroft de Jubilee Housing proporciona energía de emergencia de respaldo a un espacio comunitario. En caso de un apagón, los residentes, muchos de los cuales dependen de la electricidad para fines médicos, pueden usar el espacio comunitario para acceder a calefacción / aire acondicionado, un televisor, refrigeración para productos perecederos y medicamentos sensibles a la temperatura, así como enchufes para cargar teléfonos celulares y equipo médico dependiente de electricidad. El sistema de batería de 46 kilovatios/56 kilovatios-hora, conectado a un panel solar en le techo de 62,4 kilovatios, también alimenta la iluminación de escaleras y pasillos en todo el complejo. Además de la capacidad de resiliencia, la matriz solar comunitaria le ahorrará a cada hogar aproximadamente USD 40 por mes en sus facturas de servicios públicos.¹¹

MICRORRED DE VIEQUES, PR: Community Through Colors (CTC), una organización sin fines de lucro que brinda ayuda ante desastres y preparación a comunidades costeras remotas, aisladas y desatendidas, desarrolló una microrred de energía solar+almacenamiento para los residentes que viven en hogares unifamiliares en la isla de Vieques, en Puerto Rico.¹² CTC priorizó la instalación de sistemas de energía resilientes en los hogares de residentes vulnerables que dependen de la electricidad para alimentar equipos médicos, incluyendo aquellos que utilizan nebulizadores y refrigeración para los medicamentos. CTC ya ha instalado sistemas de energía solar+almacenamiento en seis viviendas unifamiliares para la primavera de 2023. Otras diez instalaciones comunitarias críticas han recibido un sistema de energía solar+almacenamiento, incluyendo el único departamento

— CONTINUED —

— CONTINUED —

de bomberos de la isla y un centro de cuidado de ancianos que también funciona como banco de alimentos. Algunos residentes y propietarios de instalaciones han informado aumentos del 80 por ciento en ahorros de la factura eléctrica.¹³

VIA MOBILITY SERVICES, CO: Via Mobility Services (Via), el principal proveedor de servicios de movilidad sin fines de lucro en Boulder, trabajó con la ciudad de Boulder para desarrollar un sistema de energía solar+almacenamiento para su centro de transporte.¹⁴ Via opera una variedad de programas de transporte para personas mayores, personas con discapacidades y otras personas que viven con limitaciones de movilidad en Colorado. El sistema de energía solar+almacenamiento consta de una matriz solar de 10,7 kilovatios y una batería de óxido de titanio y litio de 57,2 kilovatios. El sistema alimenta cargas de TI críticas (como teléfonos y computadoras) en todo momento. En el caso de un apagón, el sistema también apoya la iluminación, los sistemas de HVAC y la carga a autobuses eléctricos. En el verano del 2018, después de que se instaló el sistema, vía experimentó un corte de energía. El sistema funcionó según lo esperado y suministró energía automática a las cargas críticas durante el apagón.¹⁵

CENTROS DE SALUD DE LA COMUNIDAD DE FLORIDA, FL Florida Association of Community Health Centers (FACHC) es la asociación de atención primaria designada por el gobierno federal para el estado de Florida. FACHC es la principal prestadora de servicios de capacitación y asistencia técnica para los Centros de Salud con Calificación Federal (FQHCs, por sus siglas en inglés) de Florida, que prestan servicios a las comunidades de bajos ingresos y otras comunidades desatendidas. Para ayudar a garantizar la continuidad de las operaciones de los FQHC durante situaciones de emergencia y desastres, FACHC lanzó una iniciativa para entender las capacidades de respaldo de los centros de salud de todo el estado. FACHC trabajó con Clean Energy Group y Direct Relief para evaluar 15 FQHC para la instalación de sistemas de energía solar+almacenamiento, y a la fecha, nueve de estos centros han avanzado con la instalación de estos sistemas. Los sistemas suministrarán energía de respaldo en caso de un corte de energía además de beneficios económicos, como ahorros en la factura de electricidad y pérdidas evitadas por motivo de apagones.¹⁶

ha beneficiado por años de programas de incentivos estatales y federales dedicados.¹⁷ Estos programas no solo mejoraron la economía de la energía solar, sino que también promovieron la expansión del mercado al incentivar a los desarrolladores a expandir sus mercados a comunidades de bajos ingresos. Algunos estados se asociaron con organizaciones comunitarias para divulgar y maximizar la educación solar.¹⁸ Incluso en los estados que han desarrollado incentivos para impulsar la implementación de soluciones de almacenamiento en las comunidades de bajos ingresos, se ha observado un bajo nivel de aceptación debido a la limitada visibilidad del programa, su deficiente diseño y su inadecuada participación comunitaria.

Es necesario implementar programas diseñados para mejorar la educación y la adopción para que el almacenamiento en baterías llegue a las comunidades desfavorecidas y de bajos ingresos. Crear conciencia sobre la resiliencia energética es especialmente difícil porque,

a diferencia de la energía solar fotovoltaica, el almacenamiento en baterías a menudo compite con otra tecnología distribuida que cuenta con el beneficio de décadas de dominio en el mercado: los generadores diésel. A pesar de los riesgos para la salud y los desafíos operativos (por ejemplo, los generadores diésel requieren un reabastecimiento de combustible frecuente), los generadores diésel (y cada vez más, los generadores de gas natural) son la opción de acceso más fácil durante un apagón. Es necesario contar con programas que incorporan educación acerca del almacenamiento en baterías para crear conciencia sobre estos sistemas, especialmente en las comunidades de bajos ingresos.

La financiación de asistencia técnica para compensar los costos de predesarrollo y las oportunidades de financiación innovadoras adaptadas a las necesidades de las comunidades de bajos ingresos pueden ayudar a los centros comunitarios críticos a superar los obstáculos financieros asociados con la comprensión y el pago de los sistemas de energía solar+almacenamiento.

ASEQUIBILIDAD: Con algunas excepciones, el almacenamiento en baterías sigue siendo en gran medida inaccesible para las personas y las organizaciones que carecen de recursos financieros. Los proveedores de servicios que operan en comunidades de bajos ingresos a menudo se enfrentan con problemas de capacidad y recursos presupuestarios limitados, lo que dificulta en gran medida el desarrollo del almacenamiento en baterías. Sin incentivos económicos y oportunidades de financiamiento, los sistemas de energía solar+almacenamiento seguirán siendo antieconómicos para la mayoría de los miembros de comunidades de bajos ingresos.

Los programas que asignan fondos destinados y niveles más altos de incentivos para apoyar el desarrollo de la energía solar+almacenamiento en comunidades de bajos ingresos pueden reducir las inversiones de bolsillo y los riesgos asociados con el financiamiento. El Programa de incentivos de autogeneración de California (SGIP, por sus siglas en inglés), por ejemplo, ofrece incentivos de almacenamiento en baterías mucho más amplios para los clientes de comunidades de bajos ingresos, en particular aquellos que tienen riesgo de experimentar apagones debido a incendios forestales. De manera similar, el programa Objetivo Solar Renovable de Massachusetts (SMART, por sus siglas en inglés) proporciona un “complemento” (mayores incentivos)

para proyectos en comunidades de bajos ingresos y proyectos que incluyen almacenamiento en baterías con energía solar. Para una revisión más detallada de los programas de incentivos, consulte la *Pregunta 5: ¿Cómo puedo pagar un sistema solar+almacenamiento (incentivos, subvenciones, financiamiento)?*

Adicionalmente, el financiamiento de la asistencia técnica para compensar costos previos al desarrollo y las innovadoras oportunidades de financiamiento adaptadas a las necesidades de las comunidades de bajos ingresos pueden ayudar a las instalaciones comunitarias críticas a superar los obstáculos financieros asociados con la comprensión y el pago de un sistema de energía solar+almacenamiento.¹⁹

P11 NOTAS FINALES

- 1 Para obtener más información sobre el término “carga energética” y cómo los hogares de bajos ingresos se ven afectados de manera desproporcionada, visite “Energy Burden: What It Is and How Renewables Can Help,” [Carga energética; qué es y cómo pueden ayudar las energías renovables], *Climate Reality Project*, 10 de marzo de 2020, <https://climaterealityproject.org/blog/energy-burden-what-it-and-how-renewables-can-help>.
- 2 Para obtener más información sobre el programa de Soluciones de Almacenamiento de Energía de Connecticut, visite “Introducing Energy Storage Solutions” [Introducción a las Energías de Almacenamiento de Energía], *Energy Storage Solutions Administrators*, <https://energystoragect.com> (consultado en 26 de marzo de 2024).
- 3 Maya Earls, “Clinics thrown into crisis during intentional blackouts” [Clínicas en crisis durante cortes de energía intencionales], *Climate Wire*, 13 de noviembre de 2019, <https://subscriber.politicopro.com/article/eenews/1061524971>.
- 4 Marriele Mango y Gianna Van Winkle, “Supporting Access to Health Care: Resilient Emergency Power for Florida Community Health Centers,” [Apoyo del acceso a la salud: energía de emergencia resiliente para los centros de salud comunitaria de Florida], *Clean Energy Group*, 24 de mayo de 2023, <https://www.cleanenergy.org/publication/resilient-emergency-power-for-florida-community-health-centers>.
- 5 Joaquin Palomino y Cynthia Dizikes, “Power outages hit some of state’s poorest communities hard,” [“Los cortes de energía golpearon duramente a algunas de las comunidades más pobres del estado”], *San Francisco Chronicle*, 3 de noviembre de 2019, <https://www.sfchronicle.com/california-wildfires/article/Power-outages-hit-some-of-state-s-poorest-14804853.php>.
- 6 Julian Spector, “Batteries vs. Blackouts: 1,100 Homes Powered Through Vermont Outage with Storage” [Baterías frente a apagones: 1.100 hogares alimentados en Vermont durante un corte de energía mediante un sistema de almacenamiento] *GTM*, 7 de noviembre de 2019, <https://www.greentechmedia.com/articles/read/green-mountain-power-kept-1100-homes-lit-up-during-storm-outage>.
- 7 Para obtener información adicional sobre el reemplazo de las “plantas de energía pico” por alternativas más limpias, consulte “Phase Out Peakers” [Eliminación gradual de las plantas pico] *Clean Energy Group*, <https://www.cleanenergy.org/initiatives/phase-out-peakers> (consultado el 28 de marzo de 2024).
- 8 Shahed Iqbal, PhD et al., “A Review of Disaster-Related Carbon Monoxide Poisoning: Surveillance, Epidemiology, and Opportunities for Prevention,” [Una revisión del envenenamiento por monóxido de carbono relacionado con desastres: vigilancia, epidemiología y oportunidades para la prevención], *American Journal of Public Health*, 102(10): 1957–1963, octubre de 2012, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3490658>.
- 9 Para obtener información adicional sobre Jubilee Housing, visite “Jubilee Housing,” *Jubilee Housing*, <https://jubileehousing.org>, (consultado el 24 de marzo de 2024).
- 10 “Featured Installations: Maycroft Apartments,” [Instalaciones destacadas: apartamentos Maycroft], *Clean Energy Group*, <https://www.cleanenergy.org/initiatives/technical-assistance-fund/featured-installations/maycroft-apartments> (consultado el 28 de marzo de 2020).
- 11 Para obtener información adicional sobre Community Through Colors, visite “Community Through Colors,” *Community Through Colors*, <https://communitythroughcolors.org> (consultado el 28 de marzo de 2024).
- 12 “Featured Installations: Vieques Microgrid Network,” [Instalaciones destacadas: microrred de Vieques], *Clean Energy Group*, <https://www.cleanenergy.org/initiatives/technical-assistance-fund/featured-installations/vieques-microgrid-network> (consultado el 24 de marzo de 2024).
- 13 Para obtener información adicional sobre Via Mobility Services, visite “Via Mobility Services,” *Via Mobility Services*, <https://viacolorado.org> (consultado el 24 de marzo de 2024).
- 14 “Featured Installations: Via Mobility Services,” [Instalaciones destacadas: Via Mobility Services], *Clean Energy Group*, <https://www.cleanenergy.org/initiatives/technical-assistance-fund/featured-installations/via-mobility-services> (consultado el 28 de marzo de 2024).
- 15 Marriele Mango y Gianna Van Winkle, “Supporting Access to Health Care: Resilient Emergency Power for Florida Community Health Centers,” [Apoyo del acceso a la atención médica: energía de emergencia resiliente para los centros de salud comunitaria de Florida], *Clean Energy Group*, 24 de mayo de 2023, <https://www.cleanenergy.org/publication/resilient-emergency-power-for-florida-community-health-centers>.
- 16 Para obtener más información sobre el *Financiamiento de la resiliencia energética*, una iniciativa de USD 3,3 millones de The Kresge Foundation, en asociación con Clean Energy Group, para acelerar el desarrollo del mercado de tecnologías de almacenamiento de energía solar fotovoltaica más baterías en comunidades históricamente desatendidas, consulte “Financing Resilient Power Fact Sheet,” [Hoja de datos sobre el financiamiento de la resiliencia energética], *Clean Energy Group*, actualizado el 24 de septiembre de 2020, <https://www.cleanenergy.org/publication/financing-resilient-power-fact-sheet>.
- 17 Bentham Paulos, “Bringing the Benefits of Solar Energy to Low-Income Consumers: A Guide for States & Municipalities,” [Llevando los beneficios de la energía solar a los consumidores de bajos ingresos: una guía para estados y municipios], *Clean Energy States Alliance*, 2017, <https://www.cesa.org/resource-library/resource/bringing-the-benefits-of-solar-energy-to-low-income-consumers>.
- 18 “SOMAH Our Partners: Community-Based Organizations” *Solar on Multifamily Affordable Housing (SOMAH)* [SOMAH y socios comunitarios], Solar en Viviendas Accesibles Multifamiliares (SOMAH)], <https://calsomah.org/somah-and-community-based-partners> (consultado el 28 de marzo de 2024).
- 19 Para obtener información adicional sobre el fondo para asistencia técnica de Clean Energy Group, visite “Technical Assistance Fund,” [Fondo para asistencia técnica], *Clean Energy Group*, <https://www.cleanenergy.org/initiatives/technical-assistance-fund> (consultado el 24 de marzo de 2024).

PREGUNTA 12

¿Cuáles son los impactos ambientales del almacenamiento en baterías?

TEMAS CUBIERTOS: impacto ambiental y social de los procesos de extracción de los materiales y fabricación de baterías de plomo ácido y de iones de litio; consideraciones sobre el final de la vida útil (reciclaje, reutilización)



El desarrollo de baterías de plomo-ácido y de iones de litio conlleva impactos tanto sociales como ambientales. Aquí nos enfocamos en tres etapas del ciclo de vida de la batería para medir el impacto ambiental y humano: extracción, producción y final de vida.

Existen preocupaciones sociales y ambientales asociadas con la extracción de los materiales y la fabricación de baterías de iones de litio y plomo-ácido. Ambas están compuestas por recursos finitos que impactan el medio ambiente a través de procesos de extracción y fabricación.

Extracción y producción

Existen preocupaciones sociales y ambientales asociadas con la extracción de los materiales y la fabricación de baterías de iones de litio y plomo-ácido. Ambas están compuestas por recursos finitos que impactan el medio ambiente a través de procesos de extracción y fabricación y pueden estar asociadas con prácticas de explotación debido a regulaciones laxas (o inexistentes). (Consulte la P12, Tabla 1, p. 80.)

La principal preocupación en materia de fabricación y extracción asociada con las baterías de plomo-ácido está relacionada con el plomo. No existe un nivel seguro de exposición al plomo para los seres humanos e incluso una exposición moderada durante un período de tiempo puede provocar complicaciones de salud grandes, como fallos en los órganos internos. El suelo o el polvo contaminado pueden y han causado envenenamientos y muertes por plomo, particularmente en los países en desarrollo donde la

extracción de este material es común y las regulaciones son laxas.¹ Para el medio ambiente, la exposición al plomo relacionada con el proceso de extracción puede contaminar el agua, el suelo y los cultivos. Un estudio reveló impactos generalizados en la salud de las comunidades en la China que rodean las minas de plomo.² Las baterías de plomo-ácido también requieren prácticas de procesamiento con un consumo intensivo de energía, lo que genera tasas más altas de contaminación que las de iones de litio.

Las baterías de iones de litio requieren una cantidad significativamente menor de materias primas que las baterías de plomo-ácido y, por lo tanto, tienen un impacto menor en el medio ambiente durante el proceso de extracción.³ Además, los materiales que componen una batería de iones de litio son menos peligrosos que el plomo, que es un metal pesado tóxico, por lo cual, la contaminación es un problema menor. Sin embargo, la extracción de iones de litio tiene sus propios problemas ambientales. Las prácticas actuales de extracción de litio

P12 TABLA 1: **Pros y contras de las baterías de iones de litio y de plomo-ácido**

Baterías de Iones de litio	
Pros	Contras
<p>Extracción: menor impacto ambiental Las baterías de iones de litio requieren significativamente menos materias primas que las de plomo-ácido.</p> <p>Extracción y fabricación: menor riesgo de contaminación ambiental y para la salud Los componentes de las baterías de iones de litio son menos peligrosos que los de plomo; las preocupaciones por la contaminación son un problema menor.</p> <p>Extracción y fabricación: Opciones alternativas Algunos proveedores de baterías de iones de litio utilizan productos químicos que no contienen cobalto.</p> <p>Reciclaje: duración de la batería Las baterías de iones de litio duran más que otras químicas de baterías; por lo tanto, los sistemas requieren menos reemplazos de baterías.</p> <p>Reutilización: baterías de VE Las baterías de vehículos eléctricos se pueden reciclar, refabricar y reutilizar en sistemas de almacenamiento de baterías estacionarias.</p>	<p>Extracción: prácticas de explotación laboral El cobalto, un componente necesario de algunas químicas comunes de baterías de iones de litio, está vinculado a prácticas de explotación laboral y abusos de los derechos humanos a nivel internacional.</p> <p>Extracción: prácticas ambientalmente invasivas Procesos de extracción invasivos que requieren una cantidad significativa de agua.</p> <p>Reciclaje: industria de reciclaje limitada Se recicla menos del 5% de las baterías de iones de litio. La cantidad de componentes de las baterías dificulta el reciclaje. El reciclaje también requiere instalaciones costosas con uso intensivo de energía, lo que hace que el proceso sea menos rentable.</p> <p>Reciclaje: instalaciones contaminantes El reciclaje generalmente requiere instalaciones costosas que operan con procesos contaminantes que consumen mucha energía. Este proceso también genera desperdicios, por lo tanto, se recicla una menor parte de la batería.</p>
Baterías de plomo-ácido	
Pro	Contras
<p>Reciclaje: se recicla fácilmente Casi el 100% de las baterías de plomo-ácido se reciclan. El plomo-ácido aprovecha los beneficios de una industria desarrollada y una química de batería más simple, lo que hace que el reciclaje sea más simple, consuma menos energía y sea más rentable.</p>	<p>Extracción, fabricación y reciclaje: riesgos para la salud No existe un nivel seguro de exposición al plomo para los humanos e incluso hasta una exposición moderada durante un período de tiempo puede generar serias complicaciones de salud.</p> <p>Extracción: contaminación ambiental La exposición al plomo relacionada con los procesos de extracción puede contaminar el agua, el suelo y los cultivos.</p> <p>Fabricación: consumo intensivo de energía El procesamiento requiere más energía que las baterías de iones de litio, resultando en tasas comparativamente más altas de contaminación.</p>

pueden incluir procesos de extracción invasivos y requieren una cantidad significativa de agua. De hecho, comunidades enteras en Chile (que tiene una de las reservas de litio más grandes del mundo) han agotado sus recursos de agua o tienen problemas de contaminación del agua debido a la minería de litio.⁴

Además de los problemas ambientales, el cobalto, un componente necesario de algunas químicas comunes de las baterías de iones de litio, está vinculado a prácticas de explotación laboral. Los abusos de los derechos humanos, además de muchas otras violaciones de los derechos ambientales y laborales, se han relacionado con la extracción de cobalto en la República Democrática del Congo, que produce el 50 por ciento del suministro mundial de cobalto.⁵ En los últimos años, se ha observado una disminución constante de la demanda de baterías de NMC, y por lo tanto de cobalto, en favor de la principal opción alternativa de iones de litio, las baterías de fosfato de hierro y litio (LFP, por sus siglas en inglés).

Fin de vida

RECICLAJE: Hoy en día, casi el 100 por ciento de las baterías de plomo-ácido se reciclan, en comparación con menos del 5 por ciento de las baterías de iones de litio. El plomo-ácido es una tecnología más antigua (las baterías de plomo-ácido han sido un componente integral de la industria del transporte durante más de un siglo) y se beneficia de una industria de fabricación y reciclaje establecida que se ha desarrollado durante los últimos 100 años.⁶ El plomo-ácido también es un método más simple de química de baterías que la de iones de litio, lo que hace que el proceso de reciclaje sea más fácil y eficiente.⁷

A pesar de ser una industria bien desarrollada, el reciclaje de plomo sigue siendo problemático debido a las consecuencias para la salud por la exposición al plomo. Aunque la industria de reciclaje de plomo en los Estados Unidos es una de las más reguladas del mundo, aún se reportan casos por envenenamiento de plomo en las plantas de reciclaje. Hasta que se cerró en 2015, una planta de reciclaje de plomo en California liberó 3.500 toneladas de plomo a la atmósfera durante su vida útil. La exposición al plomo podría generar condiciones crónicas de salud para los 250.000 residentes que viven cerca de la planta.⁸

Mientras que el componente principal de las baterías de plomo-ácido es el plomo, las baterías de iones de litio pueden incluir una mezcla de compuestos de cobalto, manganeso, fosfato de hierro o níquel, así como aluminio, cobre y grafito. Esto hace que el reciclaje sea más complejo.⁹ Además, la industria de iones de litio recién ha comenzado a crecer en las últimas dos décadas y el desarrollo de una industria de reciclaje ha pasado a un segundo plano frente al desarrollo de una industria competitiva en costos y tecnología.

Si bien se están desarrollando procesos nuevos y más eficientes, las prácticas establecidas de reciclaje de baterías de iones de litio suelen requerir instalaciones costosas, que utilizan procesos contaminantes con un consumo intensivo de energía para dismantlar las baterías. Asimismo, estos procesos no logran recuperar por completo todos los materiales valiosos que componen las baterías de iones de litio.¹⁰ De manera alternativa, el 100 por ciento del plomo de las baterías de plomo-ácido se puede extraer y reciclar a lo largo de múltiples vidas útiles sin degradarse.¹¹

A pesar del sombrío panorama actual del reciclaje, existe la esperanza de que se introduzcan mejoras en la industria de reciclaje de iones de litio en el futuro. Muchos de los componentes principales de las baterías de iones de litio se pueden utilizar para fabricar nuevas baterías de iones de litio. Si el proceso de reciclaje puede hacerse más eficiente y rentable, la industria y el

medio ambiente se beneficiarían; ya que los metales costosos se reciclarán en nuevas baterías y se requerirá menos extracción de nuevos recursos. Se han emprendido más investigaciones para comprender el potencial del reciclaje de iones de litio, y se están formando empresas para abordar metodologías de reciclaje nuevas y mejoradas. En 2023, el Departamento de Energía invirtió USD 2 millones en programas de “rejuvenecimiento, reciclaje y reutilización de baterías de iones de litio”.¹² Los fabricantes principales de baterías, como LG Energy Solution, se están asociando con empresas de reciclaje para optimizar los sistemas de reciclaje de las baterías.¹³

REUTILIZACIÓN: Las baterías de vehículos eléctricos (VE) suelen tener una vida útil de 10 años. Sin embargo, los procesos de reciclaje y de fabricación pueden preparar las baterías de los vehículos eléctricos para un segundo ciclo de vida en los sistemas de almacenamiento en baterías estacionarias, que pueden aprovechar la vida útil significativa que queda en las baterías de los vehículos eléctricos y no se rigen por las mismas limitaciones de espacio y peso que el transporte.¹⁴

Redwood Materials, una empresa de reciclaje de baterías, está trabajando con la Cooperativa de Servicios Públicos de la Isla de Kauai para dismantelar y reciclar el sistema de almacenamiento en baterías de 4,6 megavatios-hora en la subestación de Anahola, que se encargó en el 2015 como uno de los primeros sistemas de almacenamiento en baterías a gran escala en los Estados Unidos. Se está reciclando la batería en un centro en Nevada para su uso en una flota de próxima generación de almacenamiento de energía.¹⁵ Redwood Materials también llevó a cabo una iniciativa de reciclaje de baterías de automóviles eléctricos en California mediante la cual se reciclaron más de 1000 baterías en el primer año. Los componentes reciclados de las baterías, el 80 por ciento de los cuales eran iones de litio, se utilizarán por fabricantes de celdas de baterías de Estados Unidos.¹⁶

Se están formando compañías completas con la misión de reciclar y reutilizar las baterías de los VE para el almacenamiento estático de energía. B2U, una compañía de reciclaje de baterías con base en California, dirigió un proyecto en el que una granja de energía solar de 1,5 megavatios-hora carga 600 baterías de VE reutilizadas durante el día y despliega/vende la energía a la red por la noche, cuando la demanda y los precios de la electricidad son más altos.¹⁷ Otro emplazamiento de B2U en Lancaster, California, tiene una capacidad de almacenamiento en baterías de 25 megavatios-hora generada por 1300 baterías de VE recicladas, el mayor sistema de almacenamiento de energía operativo que utiliza baterías usadas de VE.¹⁸

P12 NOTAS FINALES

- 1 "Lead poisoning and health," [El envenenamiento por plomo y la salud], *Organización Mundial de la Salud*, 23 de agosto de 2019, <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/lead-poisoning-and-health>.
- 2 Xiuwu Zhang, et al., "Impacts of lead/zinc mining and smelting on the environment and human health in China," [Evaluación y monitoreo ambiental impactos de la extracción y fundición de plomo/zinc en el medio ambiente y la salud humana en China, *Nacional Center por Biotecnología Información*, 2012, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21573711> (aconsultado el 26 de marzo de 2024).
- 3 AllCell Technologies, LLC, "A Comparison of Lead Acid to Lithium-ion in Stationary Storage Applications," [Una comparación de ácido de plomo con iones de litio en aplicaciones de almacenamiento estacionario], *Battery Power Online*, marzo de 2012, <https://www.batterypoweronline.com/wp-content/uploads/2012/07/Lead-acid-white-paper.pdf> (consultado el 26 de marzo de 2024).
- 4 Nicole Karlis, "Electric cars are still better for the environment. But lithium mining has some problems," [Los automóviles eléctricos siguen siendo mejores para el medio ambiente. Pero la minería de litio tiene algunos problemas], *Salon*, 17 de junio de 2019. <https://www.salon.com/2019/06/17/lithium-mining-for-green-electric-cars-is-leaving-a-stain-on-the-planet>.
- 5 Mitch Jacoby, "It's time to get serious about recycling lithium-ion batteries," [Es hora de tomar en serio el reciclaje de baterías de iones de litio], *Chemical & Engineering News*, Volumen 97, Edición 28, 14 de julio de 2019, <https://cen.acs.org/materials/energy-storage/time-serious-recycling-lithium/97/i28> (consultado el 26 de marzo de 2024).
- 6 "Lead Vs. Lithium Battery Recycling," [Comparación del reciclaje de baterías de plomo y litio], *Waste Advantage Magazine*, 18 de julio de 2018, <https://wasteadvantagemag.com/lead-vs-lithium-battery-recycling>.
- 7 Mitch Jacoby, "It's time to get serious about recycling lithium-ion batteries," [Es hora de tomar en serio el reciclaje de baterías de iones de litio], *Chemical & Engineering News*, Volumen 97, Edición 28, 14 de julio de 2019, <https://cen.acs.org/materials/energy-storage/time-serious-recycling-lithium/97/i28>.
- 8 Leigh Hopper, "Lead contamination found in baby teeth of children living near Exide battery plant," [Se encontró contaminación por plomo en los dientes de leche de los niños que viven cerca de la planta de baterías Exide], *USC News*, 6 de mayo de 2019, <https://news.usc.edu/156523/lead-in-baby-teeth-exide-battery-plant>.
- 9 "Lead Vs. Lithium Battery Recycling," [Comparación del reciclaje de baterías de plomo y litio], *Waste Advantage Magazine*, 18 de julio de 2018, <https://wasteadvantagemag.com/lead-vs-lithium-battery-recycling>.
- 10 Mitch Jacoby, "It's time to get serious about recycling lithium-ion batteries," [Es hora de tomar en serio el reciclaje de baterías de iones de litio], *Chemical & Engineering News*, Volumen 97, Edición 28, 14 de julio de 2019, <https://cen.acs.org/materials/energy-storage/time-serious-recycling-lithium/97/i28>.
- 11 Kelly Pickerel, "The importance of recycling batteries on solar projects," [La importancia del reciclaje de baterías en proyectos solares], *Solar Power World*, 24 de octubre de 2019, <https://www.solarpowerworldonline.com/2019/10/a-qa-on-battery-recycling>.
- 12 "DOE Invests \$2 Million to Advance Li-Ion Battery Recycling and Remanufacturing Technologies," [El Departamento de Energía invierte USD 2 millones para promover las tecnologías de reciclaje y refabricación de baterías de iones de litio], *Advanced Materials & Manufacturing Technologies Office*, 7 de junio de 2023, <https://www.energy.gov/eere/amtto/articles/doe-invests-2-million-advance-li-ion-battery-recycling-and-remanufacturing>.
- 13 Mitch Jacoby, "LG Energy Solution partners with battery recycling branch in Australia," [LG Energy Solution se asocia con una sucursal de reciclaje de baterías en Australia], *TESLARATI*, 22 de marzo de 2024, <https://www.teslarati.com/lg-energy-solution-battery-recycling-australia/>.
- 14 Para obtener más información sobre el reciclaje y la reutilización de baterías de vehículos eléctricos para aplicaciones estacionarias, consulte Hauke Engel, Patrick Hertzke y Giulia Siccardi, "Second-life EV batteries: The newest value pool in energy storage," [Baterías de vehículos eléctricos de segunda vida: el grupo de valor más nuevo en almacenamiento de energía], *McKinsey & Company*, 30 de abril de 2019, <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/second-life-ev-batteries-the-newest-value-pool-in-energy-storage>.
- 15 "KIUC and Redwood Materials Sustainably Recycle Lithium-Ion Batteries," [KIUC y Redwood Materials reciclan baterías de iones de litio de manera sustentable], *Cooperativa de Servicios Públicos de la Isla Kauai*, 7 de noviembre de 2023, <https://www.kiuc.coop/kiuc-and-redwood-materials-sustainably-recycle-lithium-ion-batteries>.
- 16 "One year update: Redwood's California EV Battery Recycling Program," [Actualización a un año: Programa de reciclaje de baterías de VE de Redwood en California], *Redwood Materials*, 2 de marzo de 2023, <https://www.redwoodmaterials.com/news/update-california-ev-battery-recycling-program>.
- 17 Kavya Balaraman, "California project is second in US to employ used EV batteries to sell power to the grid: B2U," [El proyecto de California es el segundo en los EE. UU. en emplear baterías usadas de VE para vender energía a la red: B2U], *Utility Dive*, 14 de noviembre de 2023, <https://www.utilitydive.com/news/b2u-california-project-used-honda-ev-batteries-energy-storage/699749>.
- 18 Stephen Singer, "B2U reaches 25 MWh storage capacity at California facility with 1,300 used Honda and Nissan EV batteries," [B2U alcanza una capacidad de almacenamiento de 25 MWh en una instalación de California con 1.300 baterías usadas de VE Honda y Nissan], *Utility Dive*, 7 de febrero de 2023, <https://www.utilitydive.com/news/B2U-storage-solutions-ev-batteries-second-life/642107>.

Conclusión

El panorama económico, de mercado y regulatorio para la energía solar+almacenamiento está constantemente evolucionando. Desde que se publicó esta guía originalmente en el año 2020, se han producido importantes cambios en la industria de las baterías y en los incentivos federales, además de observarse un rápido crecimiento de las instalaciones de sistemas de energía solar+almacenamiento. Las respuestas que se presentan aquí representan los cambios en el escenario de la energía solar+almacenamiento, que continuará evolucionando en los próximos años a medida que los sistemas de energía solar+almacenamiento se conviertan en una parte importante de la transición hacia el uso de energías limpias. Las nuevas oportunidades y los nuevos desafíos inevitablemente generarán nuevas preguntas en el futuro.

A medida que cambie el escenario de la energía solar+almacenamiento, Clean Energy Group seguirá proporcionando información actualizada a través de publicaciones, seminarios web, tutoriales y actualizaciones periódicas a esta guía. Nuevos recursos, junto con numerosos recursos existentes, estarán disponibles a través de nuestro sitio web, en www.cleanenergygroup.org y www.resilient-power.org. Alentamos a las organizaciones y las personas a que se comuniquen con nosotros con cualquier pregunta que puedan tener sobre la tecnología de energía solar+almacenamiento.

2014-2023 Impactos del Programa de Financiación para la Resiliencia Energética

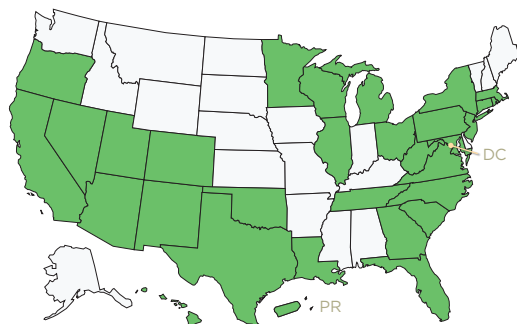
Clean Energy Group (CEG) estableció dos pequeños programas de subvenciones: el Fondo para asistencia técnica (TAF, por sus siglas en inglés) y la Iniciativa para el Liderazgo de la Resiliencia Energética (RPLI, por sus siglas en inglés), para mejorar la capacidad de una comunidad de proporcionar seguridad energética, seguridad pública y mejores resultados de la salud pública al promover las tecnologías de resiliencia energética: energía solar combinada con almacenamiento en baterías (solar+almacenamiento). Los programas de Financiación para la Resiliencia Energética de CEG pretenden ampliar el conocimiento de la población sobre las tecnologías de energía limpia y resiliencia energética y desarrollar la competencia dentro de las organizaciones comunitarias en relación con los beneficios de las soluciones de energía solar+almacenamiento. Hasta la fecha, los programas TAF y RPLI han ayudado a más de 150 comunidades en 32 estados y territorios de los EE.UU. a ampliar sus conocimientos sobre la resiliencia energética y la forma en que la tecnología de energía solar+almacenamiento puede ayudar a sus comunidades.

309 instalaciones comunitarias



Los programas de resiliencia energética de **Clean Energy Group** han promovido la exploración de la tecnología resiliente de energía solar+almacenamiento en **309** centros comunitarios de comunidades desatendidas y de bajos recursos en **32** estados y territorios de los Estados Unidos.

32 estados y territorios



USD 1,7 millones en subvenciones adjudicadas

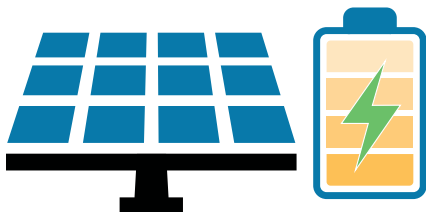


Se adjudicaron **167** subvenciones para asistencia técnica y desarrollo de capacidades por un total de **USD 1,7 millones** a más de **150** organizaciones comunitarias, municipalidades, naciones nativas, programas de vivienda asequible y prestadores de servicios comunitarios que trabajan para promover el uso de tecnologías resilientes de energía solar+almacenamiento en sus comunidades.

Más de 150 socios de servicios comunitarios



60 proyectos completados



Estas colaboraciones han resultado en **60** proyectos completados, incluyendo estaciones de bomberos, clínicas de salud, instituciones de fe, centros de resiliencia, centros municipales y más de **3.000** unidades de viviendas asequibles.

3.000 unidades de viviendas asequibles



Sobre los autores

Marriele Robinson Mango

DIRECTORA DE PROYECTOS, CLEAN ENERGY GROUP

marriele@cleanegroup.org

Marriele Mango es directora de proyectos de Clean Energy Group (CEG), donde dirige los esfuerzos de CEG abogando por la resiliencia energética como herramienta esencial para la salud pública y la respuesta ante emergencias. Además, administra los programas de asistencia técnica y desarrollo de capacidades para apoyar a los prestadores de servicios críticos y a las organizaciones comunitarias en sus esfuerzos por desarrollar proyectos de resiliencia energética que beneficien a las comunidades históricamente marginadas. Marriele tiene experiencia en manejo de desastres con la Oficina de Manejo de Emergencias del Condado de Marion en Salem, Oregón, donde se enfocó en desarrollar estrategias de energía limpia para iniciativas de mitigación y respuesta ante emergencias. Antes de su trabajo en Oregón, se desempeñó como Coordinadora de Proyectos en un programa de eficiencia energética sin fines de lucro destinado a ayudar a las comunidades de bajos recursos e instituciones religiosas en Long Island. Tiene más de 15 años de experiencia en la promoción de energías limpias y en la implementación de programas y tiene una Maestría en Política Ambiental y Gestión de la Sostenibilidad de The New School.

Seth Mullendore

PRESIDENTE Y DIRECTOR EJECUTIVO, CLEAN ENERGY GROUP

seth@cleanegroup.org

Seth Mullendore es presidente y director ejecutivo de CEG, donde supervisa la misión de la organización de promover la justicia energética y fomentar estrategias innovadoras en materia de energía para abordar la crisis climática. Anteriormente, ocupó los cargos de vicepresidente y director de proyectos de CEG. En dichos roles, dirigió los esfuerzos de la compañía para ampliar el acceso a los beneficios de las tecnologías de energía solar fotovoltaica y almacenamiento en baterías a las comunidades de bajos ingresos y las comunidades de color, y trabajó con aliados en la comunidad para reemplazar las plantas de energía contaminante por alternativas de energía limpia. Antes de unirse a CEG, Seth se desempeñó como Becario de Energía Sostenible con La Unión de Científicos Conscientes (Union of Concerned Scientists) y trabajó con Comunidades Limpias de Maine (Maine Clean Communities) para ayudar a promover iniciativas de transporte limpio. Seth tiene una Maestría en Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Stanford, y un bachillerato en Geociencias de la Universidad del Sur de Maine.

Sobre Clean Energy Group

Clean Energy Group (CEG) es una organización nacional sin fines de lucro que trabaja para acelerar una transición equitativa e inclusiva hacia un futuro energético resiliente, sostenible y limpio. CEG llena una brecha crítica de recursos al promover nuevas iniciativas energéticas y ser una fuente confiable de experiencia técnica y análisis independiente en apoyo de las comunidades, las organizaciones sin fines de lucro y los líderes gubernamentales que trabajan a la vanguardia del cambio climático y la transición hacia el uso de energía limpia. CEG colabora con diferentes socios del sector público, privado y sin fines de lucro para acelerar el despliegue equitativo de tecnologías de energía limpia y el desarrollo de programas, políticas y herramientas financieras inclusivos en materia de energía limpia. CEG creó y administra el Proyecto de Resiliencia Energética para acelerar el despliegue equitativo de tecnologías de energía solar fotovoltaica y almacenamiento en baterías en las comunidades históricamente marginadas y desatendidas. Para obtener más información, visite www.cleanegroup.org y www.resilient-power.org.



CleanEnergyGroup

50 State Street, Suite 1, Montpelier, VT 05602

802.223.2554 | info@cleanegroup.org | www.cleanegroup.org

© 2024 CLEAN ENERGY GROUP