

El almacenamiento hidráulico supera a las baterías en rentabilidad para el riego fotovoltaico, según un estudio

- Un estudio de CIRCE publicado en la revista Sustainability concluye que la mejor estrategia de almacenamiento para el riego fotovoltaico depende de si se prioriza el ahorro o la autosuficiencia.



<https://www.pv-magazine.es/2026/07/13/el-almacenamiento-hidraulico-supera-a-las-baterias-en-rentabilidad-p...>

Pilar Sánchez Molina

Lunes, 13 julio 2026

Un equipo de investigadores del Centro Tecnológico CIRCE ha concluido que no existe una solución única para gestionar la energía en sistemas de riego alimentados con energía fotovoltaica. Según el estudio “Energy Management Optimization in Photovoltaic-Powered Irrigation Systems: A Comparative Analysis of Electrical and Natural Storage Strategies”, publicado en junio en la revista *Sustainability*, la configuración óptima depende de si el objetivo prioritario es maximizar la autosuficiencia energética o minimizar los costes de explotación.

El trabajo, desarrollado en el marco del proyecto europeo HarvRESt, analiza el comportamiento de una instalación real de riego en un viñedo español equipada con una planta fotovoltaica de 112 kWp y seis bombas de riego. Mediante un modelo horario de optimización aplicado durante un año completo, los investigadores compararon tres estrategias de almacenamiento energético: baterías, almacenamiento hidráulico mediante un depósito de agua y una combinación de ambas tecnologías.

La instalación consume la energía fotovoltaica de forma instantánea o, cuando existe excedente, se vierte a la red eléctrica mediante el sistema de compensación simplificada. El sistema original no disponía de ningún mecanismo de almacenamiento energético ni hidráulico.

Para evaluar distintas alternativas, los investigadores mantuvieron constante la potencia fotovoltaica instalada y modelizaron tres configuraciones:

- integración de un sistema de almacenamiento mediante baterías;

- incorporación de un depósito que almacena agua bombeada durante las horas de mayor producción fotovoltaica para utilizarla posteriormente en el riego;
- combinación de ambas soluciones.

Cada una de ellas se evaluó bajo dos funciones objetivo distintas: minimizar la energía importada desde la red eléctrica y minimizar el coste económico neto de operación.

La metodología empleada se basa en un modelo de programación lineal entera mixta (MILP), integrado en una estrategia de control predictivo (Model Predictive Control, MPC), que resuelve el despacho óptimo de la energía con resolución horaria.

El modelo incorpora simultáneamente la producción fotovoltaica, la demanda energética del sistema de bombeo, las necesidades hídricas del cultivo, el funcionamiento de los sistemas de almacenamiento y la evolución horaria de los precios eléctricos y de la compensación por excedentes.

La demanda de riego se estimó a partir de datos meteorológicos horarios ERA5-Land y de imágenes Sentinel-2 procesadas mediante Google Earth Engine para calcular dinámicamente el coeficiente de cultivo del viñedo y obtener las necesidades hídricas horarias.

Cuando el objetivo del modelo es reducir al máximo las importaciones de electricidad desde la red, la solución más eficaz es combinar almacenamiento eléctrico e hidráulico.

En este escenario, el sistema utiliza las baterías para desplazar energía fotovoltaica dentro del mismo día y el depósito para almacenar agua bombeada durante las horas de mayor producción solar, lo que proporciona una elevada flexibilidad operativa.

Los resultados muestran que esta configuración consigue la mayor reducción de las importaciones eléctricas y elimina prácticamente el vertido de excedentes a la red, incrementando el aprovechamiento directo de la generación fotovoltaica.

El almacenamiento hidráulico resulta más rentable

Sin embargo, cuando el criterio de optimización pasa a ser el coste económico, el resultado cambia.

El estudio concluye que el almacenamiento mediante un depósito de agua ofrece el mejor comportamiento económico. En lugar de maximizar el autoconsumo a cualquier precio, el sistema aprovecha la flexibilidad del bombeo para adaptarse tanto a la disponibilidad de energía fotovoltaica como a las señales horarias del mercado eléctrico y del mecanismo de compensación de excedentes.

Según los investigadores, esta solución logra el mejor equilibrio entre ahorro en la compra de electricidad y mantenimiento de ingresos procedentes de la venta de excedentes.

La explicación reside en varios factores. El almacenamiento hidráulico únicamente requiere una conversión electrohidráulica, mientras que el almacenamiento mediante baterías introduce pérdidas asociadas a los procesos de carga y descarga. Además, la flexibilidad que proporciona el depósito

resulta suficiente para desacoplar temporalmente la producción fotovoltaica de las necesidades de riego, reduciendo el valor añadido que aporta la batería en esta instalación concreta.

La rentabilidad de las baterías sigue siendo limitada

Los autores también incorporan el coste de inversión (CAPEX) de ambas tecnologías para estimar sus periodos de retorno.

En este análisis económico, el almacenamiento hidráulico presenta un periodo simple de retorno de aproximadamente 8,2 años, mientras que la inversión en baterías no resulta económicamente viable debido al reducido ahorro adicional que consigue generar.

La combinación de ambas tecnologías prácticamente duplica ese periodo de amortización, ya que la aportación económica adicional de la batería es limitada cuando el depósito ya proporciona una elevada flexibilidad operativa.

Los investigadores realizaron además un análisis de sensibilidad frente a distintos escenarios de precios de la electricidad. En un contexto de precios elevados, el periodo de retorno del almacenamiento hidráulico se reduce hasta 6,3 años, mientras que con precios bajos aumenta hasta 9,4 años.

El trabajo forma parte del proyecto europeo HarvRESt (*Harnessing the Vast Potential of Renewable Energy Sources for Sustainable Farming*), coordinado por CIRCE y financiado por la Unión Europea entre 2024 y 2026. Entre los desarrollos previstos por el proyecto se encuentran una Planta Virtual Agrícola capaz de simular distintos escenarios energéticos, un sistema de apoyo a la decisión para recomendar las mejores soluciones de integración de energías renovables y un catálogo de modelos de negocio e incentivos destinado a facilitar la descarbonización de las explotaciones agrícolas.