

# MEMORIA FINAL: PROYECTO HENBOCA-FV

## 1. VALORACIÓN DEL DESARROLLO DEL PROYECTO O ACCIÓN

El proyecto HENBOCA busca fomentar el cultivo de la alfalfa en La Rioja, mediante el desarrollo de una tecnología de deshidratación que permita la rentabilidad del cultivo y de la comercialización para el agricultor. Esta tecnología está basada en el uso de una bomba de calor (BC) para generar aire seco (Keyter, uno de los miembros del consorcio, ha patentado una tecnología de BC optimizada para secar el aire), alimentada con un generador fotovoltaico (FV) sin apoyo de la red eléctrica ni de baterías. Al ser un sistema alimentado sólo con energía renovable FV, se eliminan las emisiones de CO<sub>2</sub> y se reducen en gran medida los costes de operación. Además, la idea es aprovechar la sinergia que existe entre la necesidad de deshidratación y la disponibilidad de excedentes energéticos fotovoltaicos en los regadíos, para amortizar rápidamente su instalación y reducir los costes de explotación, favoreciendo aún más la rentabilidad económica.

La tecnología propuesta se ha probado inicialmente en un laboratorio en el IES-UPM (Madrid) y posteriormente se ha instalado un demostrador en Zarratón (La Rioja) para su validación en condiciones reales de operación (debajo se muestra una imagen). Esta validación ha durado dos campañas de secado de alfalfa en 2022 y 2023, y ha perseguido dos objetivos principales:

- a) Alimentar la bomba de calor sólo con energía FV, logrando el máximo aprovechamiento del recurso solar y resistiendo las fluctuaciones de potencia por pasos de nubes. Con resistir, se entiende evitar una parada brusca del sistema por algún tipo de alarma; cuando una nube produce una reducción de potencia prolongada, el control debe ordenar una parada controlada.
- b) Demostrar que los fardos de alfalfa se secan por debajo del 16% de humedad relativa (valor crítico para evitar la fermentación), en tiempos y con consumos de energía razonables.



Imagen del demostrador instalado en Zarratón (La Rioja) para su validación técnica.

Durante la primera campaña de 2022 el generador FV funcionó correctamente, se hizo un buen seguimiento del punto de máxima potencia y se evitaron alarmas por fluctuaciones de potencia. Sin embargo, se encontraron dos dificultades:

1. Se produjo una avería en el circuito de refrigerante por exceso de temperatura en el condensador. Para evitarlo, se redujo la frecuencia máxima del compresor y se implementó un control escalonado de los ventiladores.
2. Los conductos de aire, inicialmente de fibra de vidrio, no resistieron las presiones de impulsión y se abrieron durante los experimentos, con lo que no se pudo conocer la cantidad de agua que se había extraído. De cara a la campaña de 2023, se sustituyeron los conductos por unos de acero galvanizado, mucho más resistentes.

En cuanto al secado de la alfalfa, se vio que el secado en granel era rápido (menos de 3h) y barato energéticamente (consumos por litro de agua extraído inferiores a 0,5 kWh/L). El secado de la alfalfa enfardada, mucho más recomendable desde el punto de vista de la calidad nutricional del forraje, sólo es factible si se impulsa el aire en dirección perpendicular a las fibras (en paralelo a las fibras resulta muy caro energéticamente y no se accede bien al núcleo). Tras la sustitución de los conductos de aire, en la campaña de 2023 se lograron niveles de secado muy buenos (con humedades muy inferiores al valor exigido del 16%) en tiempos de entre 1-5h, razonables en comparación con las tecnologías actuales. Los consumos por litro de agua variaron entre 0,7 y 1,46 kWh/L, razonables si se compara con el de un sistema diésel (en torno a 1 kWh/L). Sin embargo, el manejo del cajón de secado resulta lento y poco sistemático, con lo cuál se recomienda sustituirlo por una infraestructura de secado comercial, similar a las llamadas “sandwicheras” que inyectan directamente el aire en el núcleo del fardo. Con esto, la tecnología puede ser fácilmente implementada en la región, donde ya se ha mostrado mucho interés en aumentar las hectáreas destinadas a la producción de alfalfa.

## **2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA DESARROLLADA**

La metodología seguida ha constado de tres fases, una de estudio, diseño y análisis de la viabilidad técnica y económica de la solución, otra de instalación y monitorización del prototipo y otra de difusión de los resultados técnicos y de viabilidad económica, compartiendo estas tres fases periodos comunes:

### **Fase 1: Estudios de viabilidad, diseño y proyecto del demostrador**

- Estudio de viabilidad técnica y económica, desarrollo del modelo de negocio y plan de explotación y exportación.
- Acciones preparatorias del demostrador: elaboración de especificaciones técnicas y procedimientos de control de calidad. Elaboración de proyecto y gestión de permisos. Diseño de la bomba de calor y de la deshidratadora. Preparación de la ubicación del demostrador. Identificación de parcelas dispuestas a cultivar alfalfa.
- Web del proyecto.

### **Fase 2: Instalación del demostrador y evaluación de su funcionamiento**

- Instalación y puesta en marcha del prototipo e inicio de la operación.
- Control de calidad del prototipo.

- Cultivo y procesado de alfalfa.
- Monitorización y evaluación de su funcionamiento.

### Fase 3: Difusión exterior de resultados

- Continuación de la monitorización del demostrador.
- Obtención de indicadores del funcionamiento técnico y económico del prototipo.
- Revisión de los estudios de viabilidad, modelo de negocio y plan de explotación a la luz de los datos de funcionamiento.
- Lecciones aprendidas.
- Disseminación entre agricultores, comunidades de regantes, cooperativas y potenciales inversores con visitas al demostrador.

## 3. CRONOGRAMA DE LA ACTUACIÓN

A continuación, se muestra el cronograma de las actividades desarrolladas, siguiendo las tres fases indicadas en la metodología. Las fases 2 y 3 se han retrasado 9 meses respecto a lo planificado, debido a problemas de suministro generados por la pandemia del COVID-19. Estos problemas afectaron a la adquisición de un compresor de frecuencia variable para la bomba de calor (el modelo por defecto es de frecuencia constante, poco adaptable a la potencia FV), y de los soportes de hormigón para el generador FV. A pesar de ello, se han conseguido efectuar pruebas de secado durante dos campañas consecutivas, pudiendo implementar las lecciones aprendidas en la primera para mejorar en la segunda.

FASES	EJECUCION DEL PROYECTO																																																
	2021												2022												2023																								
AÑO	1ª												2ª												3ª												4ª												
JUSTIFICACION	1ª												2ª												3ª												4ª												
Tareas	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
<b>Fase 1: Estudios de viabilidad, diseño y proyecto del demostrador</b>																																																	
T1.1 Estudio de viabilidad. Modelo de negocio y Plan de Expl.																																																	
T1.2 Diseño del demostrador																																																	
T1.3 Proyecto del demostrador y permisos																																																	
T1.4 Diseño de la bomba de calor y adquisiciones																																																	
T1.5 Preparación de la ubicación demostrador/parcelas cultivo																																																	
T1.6 Web del proyecto																																																	
<b>Fase 2: Desarrollo del demostrador y testaje</b>																																																	
T2.1 Instalación del demostrador.																																																	
T2.2 Puesta en marcha e inicio de la operación																																																	
T2.3 Control de calidad.																																																	
T2.4 Cultivo y procesado de alfalfa																																																	
<b>Fase 3: Difusión exterior de resultados</b>																																																	
T3.1 Monitorización del demostrador																																																	
T3.2 Revisión T1.1 tras datos de funcionamiento																																																	
T3.4 Lecciones aprendidas																																																	
T3.4 Disseminación con visitas al demostrador																																																	

## 4. ALCANCE Y PLAN DE DIVULGACIÓN

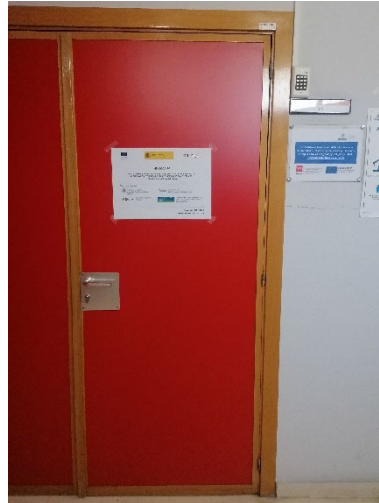
El plan de divulgación incluido en la memoria descriptiva del proyecto se ha cumplido satisfactoriamente. Las actividades realizadas han sido las siguientes:

### a) Actividades de disseminación presenciales:

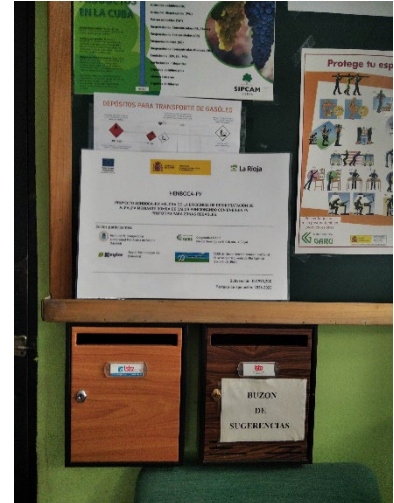
- Asistencia al XIV Congreso Iberoamericano de Energía Solar (CIES) (22-24 junio 2022) para presentar los resultados del estudio de viabilidad económica.
- Carteles informativos en las sedes de todos los socios del proyecto y en el demostrador localizado en Zarratón (La Rioja). Debajo se muestran imágenes de los 5 carteles:



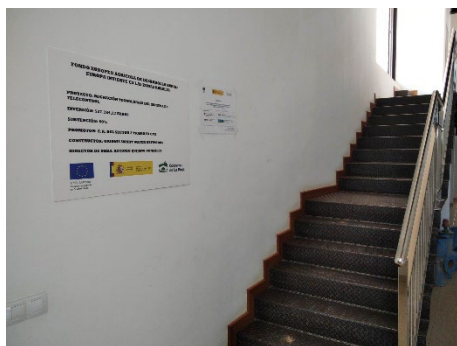
Demostrador



UPM



Garu



CCRR Najerilla



Keyter (GENAQ)

- Visita a deshidratadora industrial de alfalfa (Coop. Odarpi, 22 de julio de 2022), con representantes de la cooperativa Garu y agricultores locales.
- Asistencia al XVI Feria Internacional de Ganadería (FIGAN, 28 de marzo de 2023), en Zaragoza, para presentar los resultados de la primera campaña de medidas, así como las mejoras introducidas de cara a la segunda campaña de medidas. La presentación se realizó en la jornada técnica organizada por el grupo empresarial CAMPAG.



Imagen de la presentación durante la Jornada Técnica en FIGAN 2023.

- Visita de divulgación al prototipo de Zarratón (15 de junio de 2023), en la que se realizó una prueba de funcionamiento de la máquina de secado con las mejoras implementadas para la segunda campaña de medidas.
- Jornada de divulgación del equipo de innovación (23 de octubre de 2023), para presentar los resultados técnicos y económicos de la segunda campaña de medidas.
- Asistencia al XIV Congreso Iberoamericano de Energía Solar (CIES) (19-21 junio 2024) para presentar los resultados del estudio de viabilidad técnica.

**b) Publicaciones:**

- Artículo publicado en el XIV CIES, con la información resumida del estudio de viabilidad económica.
- Artículo publicado en la revista científica *Energies*. Este artículo presenta los resultados del estudio de viabilidad económica. La publicación es en abierto y está disponible en el siguiente enlace: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/8/3347>
- Artículo publicado en el XV CIES, con la información resumida del estudio de viabilidad técnica.
- Artículo enviado a revista científica para su publicación, a la espera de una respuesta de los revisores, con los resultados de la validación técnica. La revista a la que se ha enviado es de acceso abierto, por lo que el artículo será público en caso de ser aceptado.
- Publicaciones en la web del proyecto (<http://henboca.active.com.es>). Además de una descripción general del proyecto, se han publicado reseñas de los principales hitos, tanto técnicos como de divulgación.

- Tesis doctoral dirigida por la UPM. Aunque la tesis todavía no está en depósito, se está redactando la versión final del documento para su defensa en 2024.

## **5. VALORACIÓN GENERAL DEL PROYECTO**

El objetivo principal de esta propuesta es la demostración de deshidratadoras de alfalfa alimentadas con bombas de calor fotovoltaicas que permitan la viabilidad económica del cultivo de la alfalfa en La Rioja, incluyendo su procesado y exportación. Este objetivo ha sido plenamente alcanzado: el demostrador instalado en Zarratón (La Rioja) ha sido capaz de secar satisfactoriamente las muestras de alfalfa, en tiempos aceptables (1-5h dependiendo de la muestra) y con consumos compatibles con la viabilidad económica (0,7-1,46 kWh/L, que conduce a tasas de retorno superiores al 20%).

La validación técnica de esta tecnología supone un avance en la estrategia de investigación del grupo de Sistemas Fotovoltaicos de la UPM, y abre las puertas a un nuevo nicho de mercado para Keyter. Además, el hecho de deshidratar la alfalfa utilizando energía FV tiene evidentes ventajas económicas y medioambientales para los agricultores y comercializadores, ya que evita el consumo de combustible diésel necesario en los sistemas actuales. Esto favorece la rentabilidad económica de este cultivo, que está llamada a sustituir a otros cultivos menos rentables como la patata o la remolacha. Por último, esta tecnología de secado tiene muy buena sinergia con los sistemas de regadío, permitiendo aprovechar el excedente FV durante los periodos en los que el riego no es necesario. De esta forma, el mismo generador FV puede dar servicio a dos aplicaciones agrícolas de gran relevancia. Todo esto está en línea con los objetivos del Programa de Desarrollo Rural (modernización de las explotaciones agrarias y las infraestructuras en el medio rural, transformación y comercialización de productos agrícolas...).

Las acciones de divulgación también han cumplido su objetivo esencial: demostrar ante la comunidad científica la validez técnica del proyecto (gracias a publicaciones en revistas y congresos internacionales), y atraer la atención de los principales grupos de interés (mediante visitas técnicas, jornadas de difusión de resultados y publicaciones en la web del proyecto). De hecho, la CCRR del Najerilla ya ha manifestado su interés en incorporar un secadero de alfalfa anexo a una instalación de riego, de forma que se aprovechen sus excedentes.

Por último, este proyecto ha sido una oportunidad para poner en contacto a socios con distintos intereses (la universidad pública, la empresa Keyter, los agricultores y las comunidades de regantes), permitiendo integrarlos para conseguir ventajas para cada uno de ellos. Este ambiente transversal de cooperación es muy potente a la hora de desarrollar soluciones beneficiosas para la sociedad en su conjunto.