

# Tierras

AGRICULTURA

nº 246 (año 2016) 5 €

LA CAMPAÑA DE MAÍZ SERÁ LA MÁS ESCASA DE LA ÚLTIMA DÉCADA Y SE ATASCA CON LA LLUVIA EN MUCHAS ZONAS / 87-93



## COMIENZA UNA NUEVA ERA EN LA FERTILIZACIÓN AGRÍCOLA

### FERTILIZACIÓN 4.0

UNA VISIÓN CRÍTICA DEL ABONADO EN LOS CULTIVOS HERBÁCEOS

ORGANIZAN

 itagra.ct

UVa 

Tierras

PATROCINADOR PRINCIPAL



Diputación DE PALENCIA

ETSIA / CAMPUS DE LA YUTERA / PALENCIA / 29 DE NOVIEMBRE DE 2016

nitrogenados  
Nitro sulfam  
complejos  
NDA Forterra  
liberación lenta  
FERTILENT

siempre

www.mirat.net ~ fertilizantes@mirat.net

 **MIRAT**  
fertilizantes



# Sistemas de riego fotovoltaico: la solución en la que confía Europa para un riego seguro, fiable y barato

Luis Narvarte Fernández y Luis Miguel Carrasco Moreno

Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid

El creciente interés que el bombeo fotovoltaico (FV) está suscitando en el regadío español radica en el aumento de los costes energéticos en el sector, debido principalmente al desorbitado incremento que las tarifas eléctricas vienen experimentando desde 2008, habiendo llegado a suponer hasta un 1255% según FENACORE.

El sector del regadío mira con buenos ojos a la tecnología fotovoltaica por varios motivos, el principal, que puede significar ahorros en la factura eléctrica de hasta un 60%. Pero además porque la fotovoltaica es hoy percibida de forma generalizada como una tecnología madura, fiable y políticamente en línea con las medidas adoptadas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El interés por el bombeo fotovoltaico también se hace notar por parte de las empresas especializadas en energía solar, convertidas en supervivientes de la debacle fotovoltaica española de los últimos años, que ven ahora la oportunidad de un nuevo repunte del sector. No en vano, estimamos que en todo el sur de Europa existe un mercado potencial para el regadío fotovoltaico de 16 GW, lo que se puede cifrar entorno a los 24.000 millones de euros y al que se podrían añadir 1,5 GW más en los países del norte de África.

Como todo sistema tecnológico, el bombeo fotovoltaico, históricamente aplicado al agua potable a pequeña escala (sistemas de menos de 10 kW de potencia), ha necesitado para su madurez de un largo recorrido desde que se utilizase por primera vez en los años 70. El Instituto de Energía Solar de la Universidad Politécnica de Madrid (IES-UPM) ha acumulado una larga y profunda experiencia en esta aplicación desde el año 1991, cuando entonces llevó a cabo los estándares técnicos y controles de calidad para el Programa Regional del Sabel en el que se instalaron 600 bombes fotovoltaicos en países subsaharianos, constituyendo este el mayor esfuerzo hecho hasta la fecha en garantizar la calidad de los bombes solares. A este proyecto del IES-

Figura 1. Sistema fotovoltaico de bombeo instalado en 2004 en Túnez perteneciente a un programa de la UE coordinado por el IES-UPM.



UPM siguieron muchos otros realizados a lo largo de estas 3 últimas décadas en zonas áridas o semiáridas de todo el arco mediterráneo del norte de África, donde en algunos casos aun hoy los sistemas de bombeo fotovoltaico siguen operativos desde hace más de 20 años (Figura 1).

## ADAPTACIÓN DEL BOMBEO FV AL RIEGO

En 2013, gracias a un proyecto financiado por el MICINN y la AECID, el IES-UPM decidió dar el salto al bombeo fotovoltaico de alta potencia enfocado al regadío. El proyecto consistió en un sistema de 20 kW de potencia (el dinero estatal no dio para más) que previamente se instaló en uno de los pozos de la Comunidad General de Usuarios del Alto Vinalopó (CGUAV) en Alicante (Figura 2). El objetivo era adaptar el bombeo fotovoltaico a las necesidades del regadío dentro de una serie de condicionantes marcados por la fiabilidad, la durabilidad y el ahorro económico. Los resultados de aquellos trabajos de compatibilización de la tecnología solar con la del riego se pueden resumir en estos 4 puntos:

- La necesidad de resolver los problemas asociados a la intermitencia FV.
- El ajuste de la generación FV a las necesidades de riego.





- La integración del sistema FV en el sistema de riego existente.

- Asegurar la fiabilidad durante 25 años.

Sin embargo, sabemos que hoy en día estos requerimientos no están del todo elaborados por parte de algunas empresas del sector fotovoltaico, las cuales, ávidas por empezar a morder parte del jugoso mercado del bombeo solar, ofertan soluciones basadas en el bombeo clásico sin prestar la debida atención al necesario casamiento entre riego y fotovoltaica. En este sentido, se pueden encontrar anuncios de este tipo:

- Sistemas de bombeo que incorporan en el variador de frecuencia el seguimiento del punto de máxima potencia del generador FV (MPPT).

- Soluciones *plug-and-play* preparadas desde fábrica

- Adaptación de las redes de riego al sistema FV
- Sobredimensionamiento del tamaño del sistema FV de bombeo a balsa para utilizarlo como aplicación a presión constante

Estos ejemplos constituyen variaciones del bombeo FV clásico que sin embargo no significan una correcta adaptación al regadío y que en muchos casos no funcionan, como ocurre con las soluciones preparadas desde fábrica. Por este motivo, el estado del arte actual de esta tecnología puede calificarse como pobre, y es esta la causa por la cual los regantes están siendo testigos de cómo, al solicitar soluciones para un mismo sistema de bombeo, reciben ofertas con disparidad tanto en la potencia de los sistemas propuestos como en su coste unitario. Pero cuidado, no decimos aquí que estén intentando engañar a los regantes, es que nos encontramos ante un nuevo desarrollo tecnológico que aún está lejos de haber alcanzado su paradigma.

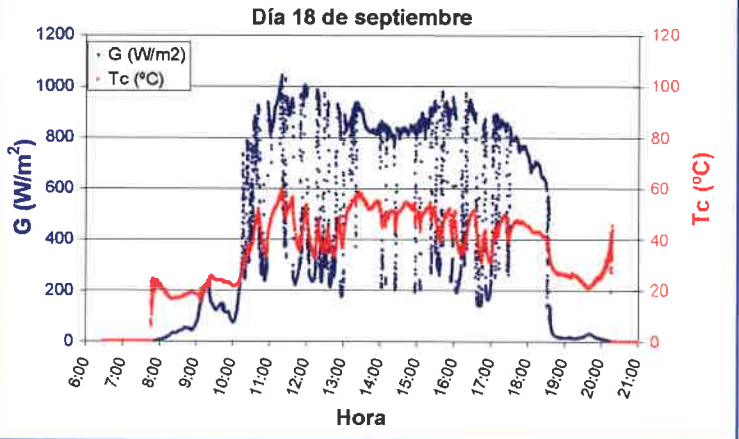
### Fluctuaciones de potencia

Ante una nueva adaptación tecnológica, es necesario pues, identificar los puntos débiles y barreras técnicas para así poder abordar sus soluciones. Nos encontramos, en primer lugar, con el consabido problema de la intermitencia en la energía generada por un sistema fotovoltaico. Efectivamente, esta energía no sólo es variable a lo largo del día, en función de la posición del sol y, en menor medida,

**Figura 2. Prototipo de bombeo fotovoltaico para riego en pozo de la CGUAV (Alicante). El generador fotovoltaico está montado sobre un seguidor solar de un eje horizontal norte-sur. Detalle de los trabajos de adecuación del pozo e instalación de la bomba sumergida.**



**Figura 3. Medidas de radiación solar G(W/m<sup>2</sup>) sobre el plano del seguidor (color azul) y de la temperatura de las células fotovoltaicas (color rojo) a lo largo del día 18 de septiembre de 2013 en el prototipo de bombeo fotovoltaico de Alicante. Se aprecia claramente el fenómeno de la intermitencia de potencia provocada por el continuo paso de nubes, haciéndola fluctuar a lo largo de todo el día entre los 200 y 1000 W/m<sup>2</sup>.**



la temperatura ambiente, sino que además esta energía puede variar drásticamente y en muy poco tiempo cuando el generador fotovoltaico es sombreado por nubes (ver Figura 3). Este efecto, capaz de modificar el valor de potencia instantánea del generador hasta en un 80%, puede producir consecuencias indeseables tanto en el circuito hidráulico como en el eléctrico. Las intermitencias de potencia generan inestabilidad en el variador de frecuencia que terminan por pararlo bruscamente, lo que conlleva la inmediata detención de la motobomba produciendo el efecto de golpe de ariete en las tuberías y la reflexión de ondas de tensión en los conductores eléctricos, siendo ambos efectos muy negativos en términos de durabilidad del sistema, reduciendo el tiempo de vida del circuito hidráulico, del variador y la motobomba.

### Adaptación a las necesidades de riego

El segundo punto a tener en cuenta es la adaptación de la productividad del sistema de bombeo FV a las necesidades hídricas estacionales. En términos absolutos, las necesidades de riego son bastante más altas en los meses de verano que en los meses de invierno. Esta diferencia se puede casar con la producción de energía fotovoltaica utilizando un seguidor solar que sea fiable y económico. En la Figura 4 se representan las productividades anuales en términos de volumen de agua por día de un mismo sistema de bombeo fotovoltaico con tres tipos diferentes de estructuras soportes del generador. La línea continua de color azul pertenece a una estructura fija, mientras que la azul discontinua corresponde a un seguidor de un eje horizontal norte-sur y la línea gris a un seguidor de alta precisión de dos ejes. Lo que vemos en esta figura es que se maximiza notablemente la producción de agua en los meses de verano utilizando seguidores solares, frente al resultado de usar una estructura fija, lo que permite una mayor adaptación a la demanda anual de agua del regadío. Sin embargo, a la hora de elegir el sistema de seguimiento es necesario evaluar tanto su coste como su fiabilidad. En este sentido, el seguidor de un eje horizontal (como el mostrado en la Figura 2) resulta mucho más atractivo que el de dos ejes debido a su contrastada robustez y fiabilidad, además de sus reducidos costes de inversión y mantenimiento.

### INTEGRACIÓN ENTRE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICO Y DE RIEGO

El tercer punto radica en la necesidad de integrar el sistema de bombeo fotovoltaico en el sistema de riego ya existente. En la mayoría de los casos lo que nos encontramos es que existe previamente un sistema de bombeo, alimentado con la red o con grupo diesel, y un sistema de riego cuyo control suele componerse de un programador, electroválvulas, sensores, etc. Al sustituir la antigua fuente de energía por un sistema fotovoltaico se debe dimensionar éste de tal manera que cubra las necesidades de bombeo en términos de presión, caudal y volúmenes diario y anual requeridos. Pero esto no es suficiente. Además es necesario que el control del bombeo fotovoltaico, normalmente asociado al variador de frecuencia, se pueda "entender" con el controlador de riego. Por este motivo es necesario desarrollar una serie de protocolos de comunicación entre ambos controladores que permitan, por ejemplo, asociar una presión dada a cada sector de riego (lo que varía el punto de trabajo del sistema FV de bombeo) o que presten la posibilidad de

Figura 4. Productividades de un mismo sistema de bombeo fotovoltaico con el generador solar montado sobre tres estructuras soporte diferentes: estructura fija orientada al sur con cierto ángulo de inclinación (línea continua azul); seguidor de un eje horizontal norte-sur (línea discontinua azul); seguidor de dos ejes (línea gris).

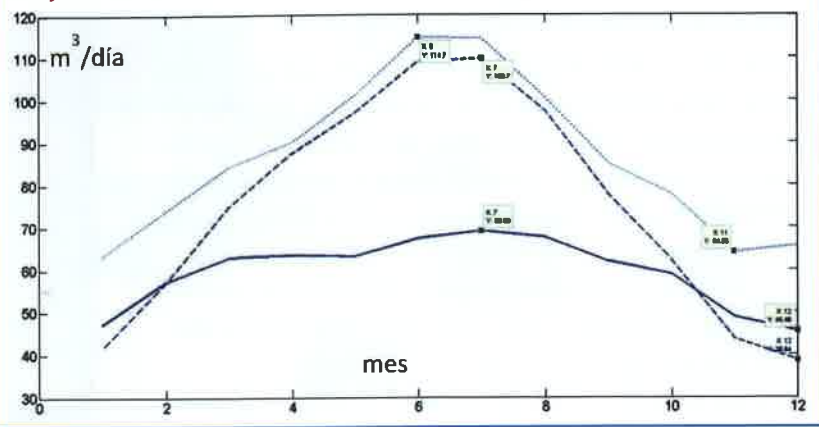
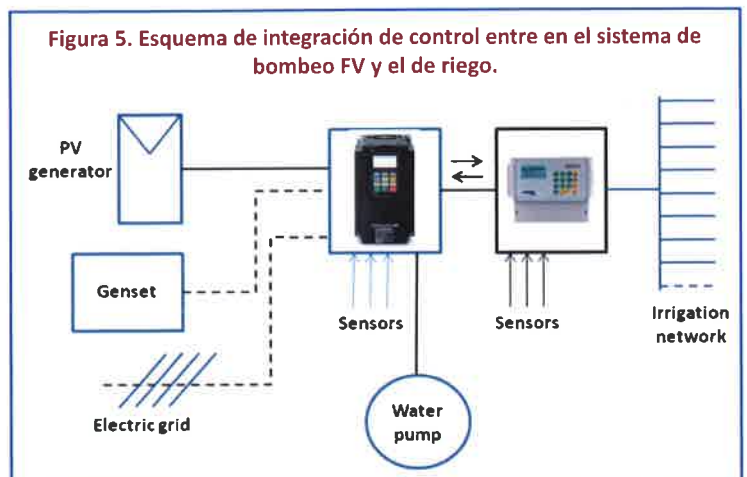


Figura 5. Esquema de integración de control entre en el sistema de bombeo FV y el de riego.



dar preferencia al riego frente a la optimización del consumo eléctrico y viceversa (ver Figura 5).

### Asegurar la durabilidad

Por último, se debe prestar mucha atención a la durabilidad del sistema, asegurando una vida útil de hasta 25 años. Existe una idea generalizada sobre la larga vida útil de los módulos fotovoltaicos. Sin embargo, una inversión económica dedicada a una aplicación productiva requiere ciertas garantías de durabilidad del conjunto del sistema que aseguren su óptimo funcionamiento más allá del periodo necesario de amortización. En este sentido, el bombeo fotovoltaico para riego debe obedecer a ciertas condiciones de calidad que afortunadamente son ya conocidas gracias a la amplia experiencia con las plantas fotovoltaicas para producción eléctrica existentes en todo el mundo. Estas condiciones de calidad deben asegurarse mediante el cumplimiento de estándares técnicos apropiados y controles de calidad sistemáticos. Un ejemplo puede ser el procedimiento de control que el IES-UPM realiza a los generadores fotovoltaicos, desde el examen de una muestra de módulos hasta la caracterización del generador completo. La ▶▶▶



Figura 6 muestra la imagen de electroluminiscencia de un módulo fotovoltaico con la que se pueden detectar microfisuras en las células y otros defectos ocultos a simple vista.

### REDUCCIÓN DEL COSTE DE LA ENERGÍA

Este es el punto donde radica el interés del sector del regadío para hacer frente a los altos costes energéticos actuales y poder aspirar así a una agricultura de regadío económicamente viable. El prototipo de Alicante mostrado anteriormente, una vez implementadas las adaptaciones al riego, fue sometido a una validación económica a partir de los registros de producción de agua medidos. Este sistema se trató de un bombeo contra balsa en el que se aplicaron las hipótesis recogidas en la Tabla 1.

En ese pozo de la CGUAV se había estado bombeando agua desde la red eléctrica anteriormente con un coste medio de 13 c€/kWh. Con el bombeo fotovoltaico llegamos

a obtener un coste de entre 5,1 y 5,4 c€/kWh según el periodo de devolución del crédito financiero considerado. Esta reducción de coste energético supone entorno a un 60% sobre la tarifa de la red eléctrica. Cabe mencionar que el coste de inversión de 1,7 €/Wp puede verse reducido considerablemente si tenemos en cuenta los costes de mercado actuales y si se aplican economías de escala.

### El bombeo a presión constante

Es preciso aquí indicar que existe una notable diferencia entre un sistema de bombeo contra balsa a otro a presión constante. Con el primero, y en función del tamaño de la balsa a la que bombeamos el agua, podemos aprovechar toda la energía capaz de producir el sistema a lo largo del año, independientemente de la estacionalidad del riego. En cambio, un sistema de bombeo contra la red de riego a presión constante, en el que no existe acumulación de agua, se ve perjudicado respecto al anterior en dos aspectos principales: sólo se bombea agua en el periodo de riego; su punto de trabajo no está establecido por la máxima potencia que puede dar el FV en cada momento (MPPT), sino por la consigna de presión que necesita el sistema de riego para mantener un caudal constante. Estos 2 factores se traducen en una notable reducción de la energía aprovechada anualmente por el sistema. Teniendo esto en cuenta, se estudió el caso de una comunidad de regantes en la que en una de sus estaciones de bombeo, con 7 motobombas funcionando en paralelo y alimentadas por la red eléctrica, se propuso la sustitución

Figura 6. Fotografías con cámara de electroluminiscencia a un mismo módulo fotovoltaico antes y después de realizarle una prueba de PID (degradación inducida por potencial).

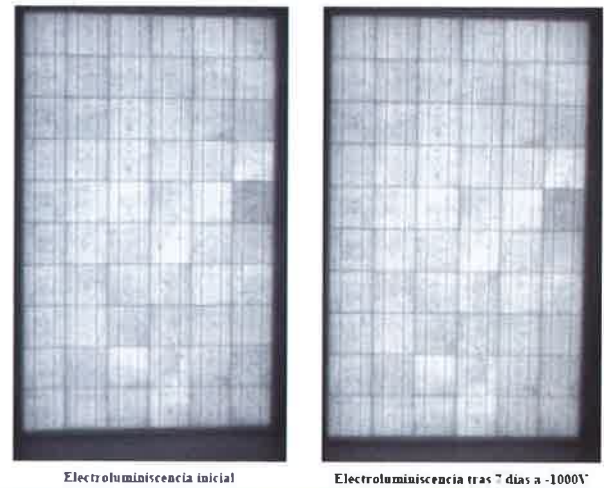
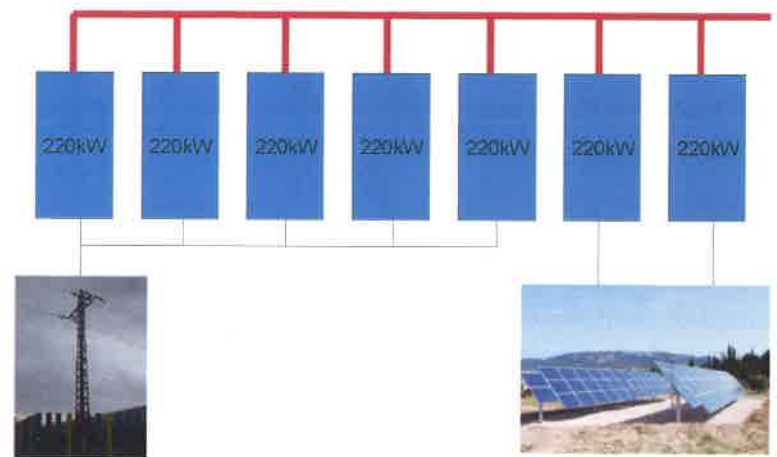


Tabla 1. Hipótesis de partida tenidas en cuenta para determinar la viabilidad económica de una instalación de energía fotovoltaica para bombeo de agua en una balsa en Alicante.

| Coste de la inversión | Tasa de interés de financiación | Incremento anual media de las tarifas eléctricas | Tasa de descuento | Vida útil del sistema |
|-----------------------|---------------------------------|--|-------------------|-----------------------|
| 1,7 €/Wp              | 5%                              | 7%   | 3,5%              | 25 años               |

Figura 7. Esquema estación de bombeo en la que se sustituye la alimentación de 2 bombas de 220 kW de red eléctrica a fotovoltaico.



de la alimentación de 2 de esas bombas por un sistema FV (ver Figura 7).

El resultado del estudio económico de este caso de bombeo a presión constante concluyó con que el ahorro del coste de energía era del 20% y en el caso de que se consiguiera utilizar el bombeo solar durante todo el año, dicho ahorro significaría un 40%. Con estos resultados se quiere hacer hincapié en que cuando hablamos de bombeo fotovoltaico para regadío deben quedar bien diferenciadas estas tipologías tanto por su desigual rentabilidad como por sus diferencias técnicas en el control. Respecto a esto úl-

timo cabe mencionar a modo de ejemplo, que el bombeo a presión constante es más sensible a las intermitencias de potencia que el bombeo contra balsa, por lo cual el primero necesitará algoritmos de control dedicados que puedan evitar estas fluctuaciones.

## EL PROYECTO MAS-LOWATEN

A raíz de la elaboración de estos trabajos previos y de los satisfactorios resultados obtenidos, el IES-UPM, junto a un consorcio de instituciones y empresas, presentó una propuesta al programa H2020 de la Comisión Europea para introducir esta tecnología en el mercado como solución técnicamente viable y económicamente competitiva frente al creciente problema del aumento de los costes energéticos en el regadío agrícola, principalmente en los países del arco mediterráneo. La decisión de la CE al seleccionar esta propuesta entre las más de 200 que concurren en el año 2014, le confiere al bombeo fotovoltaico un respaldo institucional que de seguro va a contribuir a dar confianza al sector del regadío en la adopción de esta solución tecnológica.

Los objetivos del proyecto están marcados por el fomento del uso extendido del bombeo FV para regadío, buscando el ambicioso propósito de generar un mercado de 6 GW de potencia durante los primeros 10 años de explotación del proyecto, lo que se traduce en un montante total de unos 9000 millones de euros. El concepto tecnológico propuesto se basa en la adaptación del bombeo fotovoltaico a las necesidades de riego así como la integración de ambos sistemas (Figura 8). Dicha integración incluye los aspectos de innovación relacionados con la adaptación del bombeo FV al riego ya mencionados, como son el uso de seguidores solares horizontales o la mitigación de las intermitencias de potencia, además de otros como la implementación de tecnologías de la información y comunicación (ICT) y el uso de métodos de agricultura de precisión (PA).

La metodología propuesta para alcanzar estos objetivos de penetración en el mercado, mostrada en la Figura 9, se basa fundamentalmente en la implementación de 5 sistemas reales instalados en explotaciones agrarias con los que se pretende, por un lado mostrar las diversas soluciones posibles (sistemas fotovoltaicos puros o híbridos con red o con diesel a balsa o a presión constante) y por otro llevar a cabo sendas validaciones técnica y económica que sirvan como

Figura 8. Esquema de integración entre los sistemas fotovoltaico de bombeo y de regadío.

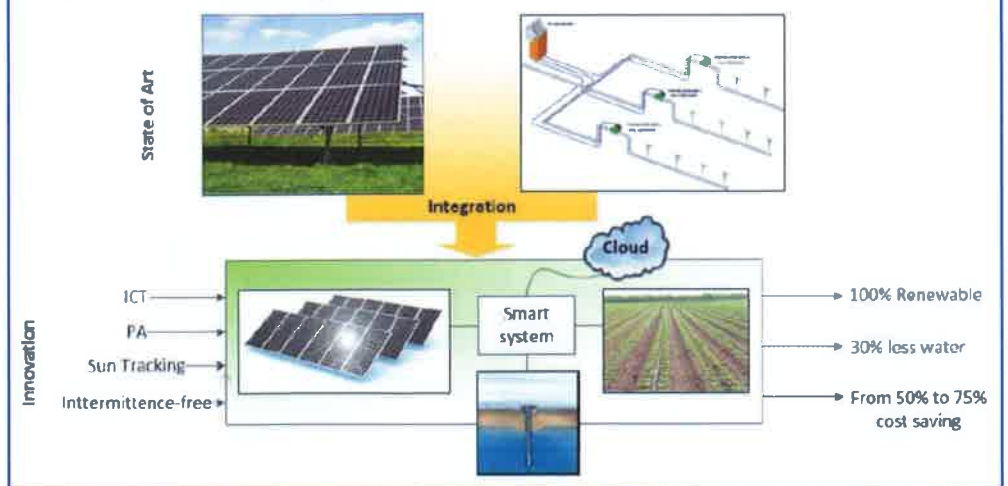
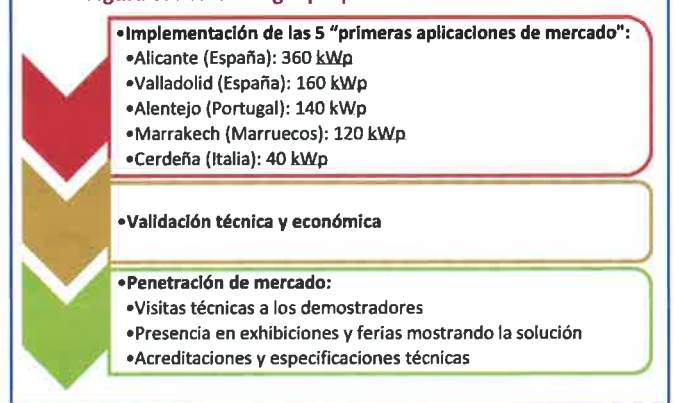


Figura 9. Metodología propuesta en MASLOWATEN.



herramientas para la posterior introducción en el mercado.

En la última fase de esta metodología, la penetración en el mercado se pretende llevar a cabo mediante 3 acciones diferentes:

- La primera es mostrar los sistemas en condiciones reales de funcionamiento. Para ello están previstas visitas técnicas tanto a profesionales del sector fotovoltaico y del regadío, como a agricultores, responsables de la administración y entidades financieras;

- El segundo punto es la participación en exposiciones y foros especializados además de la organización de seminarios internacionales con el fin de abrir mercados fuera del entorno mediterráneo;

- Por último se pretende llevar a cabo la transferencia de tecnología generada con el proyecto a al menos 20 pequeñas y medianas empresas.

MASLOWATEN mantiene una ventana abierta a todo aquel que quiera ponerse en contacto con nosotros tanto para asistir a las próximas visitas a los demostradores como para realizar cualquier tipo de consulta relacionada. Se puede acceder a través de nuestra web ([www.maslowaten.eu](http://www.maslowaten.eu)) o mediante las redes sociales en Twitter y Facebook.