

INNOVACIÓN EN EL REGADÍO CON ENERGÍAS RENOVABLES

Carrillo Cobo, M.T.¹, Camacho Poyato, E.², Rodríguez Díaz, J. A.³, Berbel, J.⁴, Montesinos, P.⁵

¹Ingeniera Agrónoma, Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Campus Rabanales, Edif. da Vinci, 14071. Córdoba. E-mail: g22carco@uco.es

²Doctor Ingeniero Agrónomo, Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Campus Rabanales, Edif. da Vinci, 14071. Córdoba. E-mail: ecamacho@uco.es.

³Doctor Ingeniero Agrónomo, Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Campus Rabanales, Edif. da Vinci, 14071. Córdoba. E-mail: jarodriguez@uco.es.

⁴Doctor Ingeniero Agrónomo, Departamento de Economía, Sociología y Políticas Agrarias. Universidad de Córdoba. Campus Rabanales, Edif. da Vinci, 14071. Córdoba. E-mail: iberbel@uco.es.

⁵Doctor Ingeniero Agrónomo, Departamento de Agronomía. Universidad de Córdoba. Campus Rabanales, Edif. da Vinci, 14071. Córdoba. E-mail: pmontesinos@uco.es.

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas regables, tras el proceso de modernización, han incrementado los requerimientos energéticos necesarios para satisfacer la demanda de agua, teniendo que afrontar importantes costes derivados de este consumo energético. Además, la tendencia ascendente de las tarifas eléctricas implica considerar la eficiencia energética un elemento clave en la supervivencia de la agricultura de regadío.

En los últimos años se han desarrollado diversas estrategias de gestión del riego y de las redes de distribución encaminados a la mejora de la eficiencia energética. Medidas como la reorganización del riego en turnos, la detección de puntos críticos o incrementos en el rendimiento de la estación de bombeo, permiten reducir los requerimientos energéticos sin generar grandes costes de inversión a las zonas regables (Rodríguez Díaz et al., 2009; Moreno et al., 2009, 2010; Jiménez Bello et al., 2010; Navarro Navajas et al., 2012; Rodríguez Díaz et al., 2012).

En España, la energía eléctrica consumida procede en gran parte de la combustión de fósiles y minerales, lo que implica un importante impacto en el medio ambiente con las emisiones de gases de efecto invernadero generadas. Por tanto, no sólo es necesario mejorar la eficiencia en el uso de la energía, sino que se debe fomentar la sustitución de recursos no renovables por fuentes de energía renovables como el viento y la energía solar fotovoltaica que además reducen las emisiones de contaminantes y de gases de efecto invernadero, disminuyendo la huella de carbono de estas instalaciones.

La incorporación de energías renovables en los sistemas de distribución de agua ha comenzado a considerarse en un principio en sistemas de abastecimiento urbanos. Por ejemplo, la forma más extendida de aprovechamiento energético en redes de suministro es la instalación de turbinas para el aprovechamiento de los excesos de energía cuando existen grandes desniveles (Ramos et al., 2007). Existen otros trabajos donde se muestran sistemas híbridos de suministro de energía para redes de abastecimiento, basados en la selección de la combinación óptima de varias fuentes de energía como son solar, eólica e hidráulica (Moura y Almeida, 2009; Viera y Ramos, 2008, 2009; Ramos et al., 2011). Este tipo de medidas permiten, no solo reducir los costes energéticos, sino que contribuyen a realizar una gestión sostenible de los sistemas de distribución de agua.

En el sector agrícola es cada vez más usual la implantación de nuevas fuentes de energía renovables, como puede ser el uso de energía solar en el control de invernaderos (Abdel-Ghany y Al-Helal, 2011; Ahmed, 2011) o especialmente, en sistemas de bombeo para riego (Jafar M.A. 2000; Ramaza Senol, 2012). Sin embargo,

solamente se han aplicado a pequeña escala, en pequeñas explotaciones donde el suministro de agua requiere de bajas potencias (no superando los 10 kW).

En esta línea, el objetivo de este trabajo es analizar, a escala de comunidad de regantes, distintos escenarios de disminución de los costes energéticos basados en la aplicación conjunta de estrategias para la reducción de la demanda energética en zonas regables y la integración de energías renovables como alternativa innovadora. Este estudio se realiza en la comunidad de regantes del Bembézar Margen Izquierda (BMI), con importantes requerimientos energéticos.

2. Materiales y métodos

Zona de estudio

La comunidad de regantes BMI, situada en la provincia de Córdoba (Figura 1), cuenta con una superficie regable de 3990 ha, distribuida en 29 agrupaciones con gran heterogeneidad de cultivos, predominando cítricos, maíz y olivar. Se ha seleccionado esta comunidad para analizar las posibilidades de utilización de fuentes de energía alternativas a escala de comunidad de regantes dado su alto consumo energético.

En esta zona, la organización de riego es a la demanda, por lo que los agricultores disponen de agua las 24 horas del día. El principal sistema de riego es localizado. La estación de bombeo cuenta con siete bombas horizontales centrífugas de cámara partida, cuatro principales de 800 kW y tres auxiliares de 315 kW. Además, la estación de bombeo cuenta con un sistema de telecontrol.

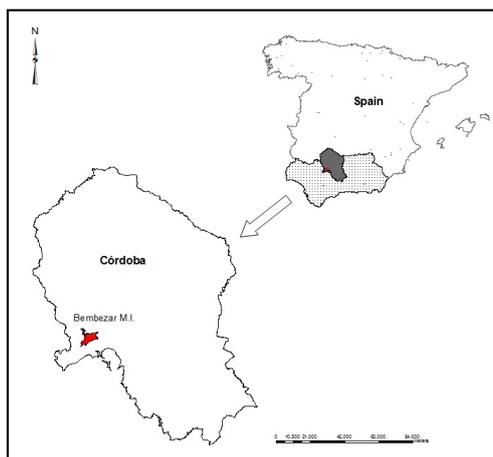


Figura 1. Situación de la Comunidad de Regantes del Bembézar Margen Izquierda

La radiación diaria media en la zona de estudio desde Mayo a Agosto es de 8.34 kWh/m²/día. Paralelamente, la campaña de riego en esta zona comprende principalmente los meses de Marzo a Octubre. Por tanto, las curvas de radiación solar y la demanda de energía en la zona regable tiene una curva de distribución similar, así los periodos de máxima producción de energía solar coincide con los periodos de máximos requerimientos de riego.

Escenarios de ahorro energético

Se han definido 4 escenarios para determinar la alternativa óptima que permita un ahorro energético y económico.

- Escenario 1. Representa la gestión actual de la red de riego. Esta red está organizada a la demanda, así los hidrantes tienen disponible 24 h de riego. La estación de bombeo tiene una altura manométrica fija de 52 m, que garantiza 30 m de presión mínima en hidrante.
- Escenario 2. El riego de la zona regable se organiza en dos sectores con dos turnos, de 12 horas de riego diario para cada sector. Se aplica el procedimiento de sectorización WEBSO, desarrollado por Carrillo - Cobo *et al.* (2011)
- Escenario 3. Se diseña un sistema fotovoltaico (FV) para producir la energía requerida por el sector con menor requerimiento energético del escenario 2. Así, este escenario combina la estrategia de sectorización y el uso de energía renovables.
- Escenario 4. Este escenario es similar al escenario 3, pero el sistema fotovoltaico se diseña para el suministro de energía del sector con mayor demanda energética del escenario 2.

Dimensionamiento sistema solar fotovoltaico.

La norma UNE-EN 61724 es el estándar europeo donde se describen las recomendaciones generales para el análisis del comportamiento eléctrico de los sistemas FV, tanto conectados a la red como autónomos. Mediante la siguiente ecuación se puede estimar la potencia que es necesaria instalar para producir una determinada energía:

$$P_{GFV} = \frac{E_{AC}}{\frac{H_a(\alpha, \beta)}{G^*} \cdot PR} \quad (1)$$

Donde, P_{GFV} (kW) es la potencia pico del campo generador fotovoltaico en condiciones estándar de medida, E_{AC} (kWh) es la energía demandada durante la campaña de riego por la zona regable, $H_a(\alpha, \beta)$ (kWh/m²) es la radiación anual de la zona de estudio, siendo α el azimut del generador y β su ángulo de inclinación sobre la horizontal, G^* (1kW/m²) es la radiación de referencia y PR es el "Performance Ratio", rendimiento del sistema.

Para este estudio, el valor de P_{GFV} se determina a partir de la energía requerida por el sector con mayor demanda energética obtenido en la sectorización generada con WEBSO. La radiación solar anual se ha estimado en función de la zona solar climática donde se ubica la zona regable BMI, de acuerdo a la radiación solar media en España definida en el Código Técnico de la Edificación (CTE).

Además, se ha evaluado la viabilidad económica de la implementación de esta metodología. Se ha determinado el coste de la energía producida y consumida, considerando las tarifas energéticas que actualmente tiene la zona de estudio en su contrato eléctrico. Además, se ha calculado el coste de inversión de la instalación

fotovoltaica, considerando precios de módulos, estructuras, red eléctrica, inversores, obra civil, sistema de telecontrol y costes de ingeniería y tramitación.

3. Resultados y discusión

Escenario 1 Vs. escenarios 2, 3 y 4

El modelo WEBSO se ha aplicado a la zona regable BMI. La estrategia de sectorización propuesta para esta zona de estudio consiste en organizar el riego en dos turnos, agrupando los hidrantes en dos sectores, cada uno con demandas energéticas similares. Por tanto, cada parcela dispone de 12 horas para regar en lugar de 24 horas. La energía anual requerida con esta estrategia es de 2985 MWh/año, el 31% demandado por el sector S1 (energía aportada por el sistema fotovoltaico en el escenario 3) y el 69% restante por el sector S2 (energía aportada por el sistema fotovoltaico en el escenario 4). Los actuales requerimientos energéticos anuales de BMI para un riego a la demanda durante las 24 horas son de 4319 MWh/año.

La tabla 1 muestra los ahorros potenciales de energía tras la sectorización de la red en comparación con el suministro a la demanda. Los ahorros potenciales de energía mensuales oscilan entre 29.8% (Octubre) y 31.8% (Agosto), alcanzando un ahorro potencial de energía anual de 38%.

Tabla 1. Requerimientos medios de energía medios (kWh/día) y ahorros potenciales de energía (%) en cada escenario.

		Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct
Escenario 1		1511	13458	24778	31789	30868	25152	12139	1478
Escenario 2,3 and 4	S1	340	2894	5324	6751	6556	5245	2586	311
	S2	708	6515	11966	15202	14798	11900	5751	726
	S1+S2	1047 (30.7%)	9409 (30.1%)	17291 (30.2%)	21950 (30.9%)	21354 (30.8%)	17145 (31.8%)	8337 (31.3%)	1037 (29.8%)

Sistema FV óptimo

La zona regable del BMI se encuentra en la Zona V, según el CTE, con una radiación solar anual de 1753 kWh/m². Por tanto, en el escenario 3 será necesaria una instalación FV de 1 MW (ecuación 1) que satisfaga los requerimientos del S1. Para el escenario 4 se requiere instalar 2.15 MW para generar gran parte de la energía demandada por el S2.

El balance anual de energía, energía demandada, producida por el sistema FV y la tomada de la red, está recogido en la tabla 2. En el escenario 3, la energía producida por el sistema FV de 1MW se usa para abastecer a S1. Sin embargo, durante las horas del día con menor radiación es necesario tomar la energía de la red, lo que supone un 16% de la energía anual requerida por este sector. El total de energía que sería necesario comprar es de 2215 MWh (74% de la energía total demandada).

En el escenario 4, el sistema FV necesario es de 2.15 MW, el cual produce el 83% de la demanda energética anual demandada por el sector S2. La energía anual que habría que comprar en este escenario es de 1272 MWh (42% de la energía anual demandada).

Tabla 2. Balance anual de energía

	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
Energía demandada (MWh /año)				
Total	4319	2985	2985	2985
S1	-	918	918	918
S2	-	2067	2067	2067
Energía producida por el sistema FV (MWh)				
Total	-	-	1648	3543
Energía adquirida de la red (MWh) (%)				
Total	4319 (100%)	2985 (100%)	2215 (74.2%)	1272 (42.6%)
S1	-	918 (100%)	148 (16%)	918 (100%)
S2	-	2067 (100%)	2067 (100%)	354 (17%)

La tabla 3 muestra los costes energéticos para los diferentes escenarios. En los escenarios 1 y 2, el 100% de la energía requerida se compra a la red. Asumiendo un precio de la energía nocturno de 0.09 €/kWh (de 24 h a 8h) y el precio medio de la energía durante el día es de 0.12 €/kWh, simplemente con la sectorización de la red con respecto al riego a la demanda (situación actual), se reduce la factura eléctrica un 30.4 %.

Tabla 3. Análisis de costes energéticos.

	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2	ESCENARIO 3	ESCENARIO 4
Coste energético (€)				
Total	475085.1	330667.9	224440.4	134257.9
S1		82617.3	17731.6	91797.0
S2		248050.6	206708.8	42461.0
Coste energético por superficie regada (€/ ha)				
	118.8	82.7	56.1	33.6
Ahorro económico (%)				
	0	30.4	52.8	71.7
Potencia Sistema Solar(MW)				
	-	-	1	2.15
Inversión (M€)				
	-	-	1.30	2.80
Viabilidad financiera				
VAN (8%) (€)			288425	1276000
TIR (%)	-	-	9.1	12.2
Payback (años)			10	8

Sin embargo, el coste energético total de los escenarios 3 y 4 se reduce con relación al escenario 1 en un 52.8 % y 71.7 % respectivamente. Ambos escenarios requieren una inversión en el sistema FV de 1.3 M€ y 2.8 M€ respectivamente.

El estudio económico (Tabla 3) muestra que el escenario 4 es el óptimo en esta zona regable. La inversión requerida en el sistema FV se amortiza en 8 años y a partir de aquí hasta los 25 años de vida útil de la instalación, la reducción de los costes energéticos gracias a la reducción de la factura eléctrica, representan un elemento clave para incrementar los beneficios del agricultor.

4. Conclusiones

En España, las zonas regables con redes de riego a presión se organizan a la demanda y usualmente requieren grandes cantidades de energía para su funcionamiento. Ante los continuos aumentos en las tarifas eléctricas, los agricultores se ven obligados a adoptar medidas de ahorro energético que reduzcan el coste de la energía. Para ello en este trabajo se han combinado dos estrategias, sectorización de la red y uso de recursos renovables, para reducir la dependencia energética de la agricultura de regadío.

Organizar el riego en turnos, a pesar de reducir la flexibilidad de riego, puede significar ahorros energéticos cercanos al 30% que combinados con el uso de energías renovables consigue en el caso de la comunidad del BMI un 83% el uso anual de energía convencional, gracias a una instalación fotovoltaica de 2.15MW, que requiere una inversión inicial de 2.8 M€ y con un periodo de recuperación de 8 años.

La utilización de energía fotovoltaica presenta ventajas adicionales a la reducción de la dependencia de la energía convencional como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Las recientes mejoras tecnológicas en este campo permiten su aplicación no sólo a pequeñas instalaciones de bombeo si no a estaciones de bombeo con elevada potencia, que gracias a sistemas mixtos permiten que en días nublados y periodos de mañana/noche, para la plena satisfacción de los requerimientos energéticos, se tome parte de la energía de la red eléctrica, haciendo posible reducir tanto la demanda de energía como los costes derivados de su consumo.

Sin embargo, otras alternativas de gestión de las energías renovables, como es la posibilidad de acogerse al balance neto, permitiría optimizar el diseño, ajustando la energía producida a la demanda, compensando los costes de inversión y haciendo más rentables este tipo de instalaciones.

Por lo tanto, el uso de energías renovables, junto con las estrategias de ahorro energético, pueden contribuir a la sostenibilidad del sector de riego, tanto en términos económicos y ambientales.

5. Referencias

Abdel-Ghany AM, Al-Helal IM. 2011 Solar energy utilization by a greenhouse: General relation. *Renewable energy*; 36 (1): 189-96

Ahmed MA-G. 2011. Solar energy conversions in the greenhouses. *Sustainable Cities and Society*; 1 (4): 219-26

- Carrillo Cobo M T, Rodríguez Díaz J A, Montesinos P, López Luque R, Camacho Poyato E. 2010. Low energy consumption seasonal calendar for sectoring operation in pressurized irrigation networks. *Irrigation Science*, 29: 157-169
- Jafar M.A. A model for small-scale photovoltaic solar water pumping. *Renewable energy* 200; 19 (1-2): 85-90.
- Jiménez Bello, M.A., Martínez Alzamora, F., Bou Soler, V., Bartoli Ayala, H.J. 2010. Methodology for grouping intakes of pressurized irrigation networks into sectors to minimize energy consumption. *Biosystems Engineering* 105, 429-438.
- Moreno, M. A., Planells, P., Córcoles, J. L., Tarjuelo, J. M., Carrión, P. A. 2009. Development of a new methodology to obtain the characteristic pump curves that minimize the total costs at pumping stations. *Biosystems Engineering*, 102: 95-105
- Moreno, M. A., Corcoles, J.I., Tarjuelo, J.M., Ortega, J.F. 2010. Energy efficiency of presurised irrigation networks managed on-demand and under a rotation Schedule. *Biosystems Engineering* 107, 349-363.
- Moura, P. Almeida, A.D., 2009. Methodologies and technologies for the integrations of renewable resources in Portugal. *Renewable Energy World Europe 2009*. Cologne, Germany, p-20
- Navarro Navajas J M, Montesinos P, Camacho Poyato E, Rodríguez Díaz J A. 2012. Impacts of irrigation sectoring as an energy saving measure on olive grove production. *Journal of Environmental Management*. In press.
- Ramazan Senol. 2012. An analysis of solar energy and irrigation systems in Turkey. *Energy Policy* 43 478-486
- Ramos H, Mellos M. 2007. Micro-hydro in water supply systems. *Hydro*. Granada, Spain. P 14-17 October.
- Ramos, H.M., Kenov, K.N., Viera, F. 2011. Environmentally friendly hybrid solutions to improve the energy and hydraulic efficiency in water supply systems. *Sustainable Development*. 15. 436-442.
- Rodríguez Díaz, J. A., López Luque, R., Carrillo Cobo, M. T., Montesinos, P. and Camacho Poyato, E. 2009. Exploring energy saving scenarios for on-demand pressurised irrigation networks. *Biosystems Engineering*. 104: 552-561
- Rodríguez Díaz, J.A., Montesinos, P., and Camacho Poyato, E. 2012. Detecting critical points in on-demand irrigation pressurized networks – a new methodology. *Water Resources Management*. 26(6): 1693-1713
- Vieira, F. And Ramos, H.M. 2008. Hybrid solution and pump –storage optimization n water supply system efficiency: A case study. *Energy Policy* (36), 4142-4148.
- Vieira, F., Ramos, H. M. 2009. Optimization of operational planning for wind/hydro hybrid water supply systems. *Renewable Energy*, 34: 928-936
- UNE-EN 61724:2000. Monitorización de sistemas fotovoltaicos. Guías para la medida, el intercambio de datos y el análisis.