

Renewable energy and hydrogen on-site generation for irrigation and mobility in vineyards / energía renovable e hidrógeno generados in situ para riego y movilidad en viñedos

Javier Carroquino¹, Nieves García-Casarejos², Pilar gargallo², Francisco-Javier García-Ramos³, y Jesús Yago⁴

¹ Universidad de Zaragoza, Departamento de Ingeniería Eléctrica, María de Luna 3, 50018 Zaragoza, España

² Universidad de Zaragoza, Facultad de Economía y Empresa, Doctor Cerrada 1-3, 50005 Zaragoza, España

³ Universidad de Zaragoza, Departamento de Ciencias Agrarias y del Medio Natural, Escuela politécnica Superior, Carretera de Cuarte s/n, 22071 Huesca, España

⁴ Intergia energía sostenible S.L., Tomás Higuera 19, 50013 Zaragoza, España

Abstract. The energy used in agriculture is a source of greenhouse gases. In order to reduce the emissions produced by the use of diesel and electricity, the European project LIFE REWIND addresses the supply from renewable resources. Firstly, the energy demand of the vineyard and winery have been characterized. Secondly, the optimal design of generation has been sought, both from an economic and emission reduction point of view. A prototype with photovoltaic generation has been installed in a vineyard, including a set of solar panels floating on an irrigation pond. This avoids the use of terrain, reduces the loss of water from the pond and improves the performance of photovoltaic panels. The electricity produced feeds the wastewater treatment plant of the cellar and the pumps for drip irrigation of the vineyard. With the surplus energy, an electrolyser produces hydrogen by electrolysis of the water, which is used by an off-road vehicle with a fuel cell. The results show the feasibility of renewable energy systems in the vineyards. This avoids both the indiscriminate extensions of the electric grid and the use of diesel generator sets. Furthermore, the ability of replacing diesel for electricity or hydrogen produced on the farm itself is shown.

Resumen. La energía utilizada en agricultura es fuente de emisiones de gases de efecto invernadero. Para reducir las producidas por el uso de gasóleo y electricidad, el proyecto europeo LIFE REWIND aborda el suministro desde fuentes renovables. Para ello, se ha caracterizado la demanda energética y recursos renovables en viñedo y bodega. Se ha buscado el diseño óptimo económico y medioambiental de la generación. Se ha instalado un prototipo en una explotación vitivinícola, con generación fotovoltaica, incluyendo un conjunto flotante sobre una balsa. Esto evita el uso de terreno, reduce la pérdida de agua de la balsa y mejora el rendimiento de los paneles fotovoltaicos. La electricidad producida alimenta la depuración de agua y el bombeo de riego por goteo del viñedo. Con la energía sobrante, un electrolizador produce hidrógeno mediante electrólisis del agua, que es utilizado por un vehículo todoterreno con pila de combustible. Los resultados muestran la viabilidad técnica y económica de los sistemas autónomos de energía renovable para alimentar el riego estacional en los viñedos. Así se evitan las extensiones indiscriminadas de la red y los grupos electrógenos diésel. Adicionalmente se muestra la posibilidad de reemplazar el gasóleo por electricidad o hidrógeno producido en la propia explotación.

1. Introducción

1.1. El cambio climático y el sector vitivinícola

La búsqueda de sostenibilidad es una tendencia necesaria para consolidar el futuro de cualquier actividad económica, lo que requiere un enfoque transversal y multidisciplinar [1]. La viticultura y en general la industria del vino están empezando a verse afectadas por el cambio climático, cuyos impactos pueden requerir en un futuro próximo importantes medidas de adaptación [2]. En línea con la diversidad de regiones vitivinícolas, con sus particulares condiciones y diferenciados vinos producidos, los impactos pueden ser diferentes y merecen ser estudiados [3–6]. Sin embargo, probablemente pocos productos sean tan sensibles como el vino a las variaciones del clima y por ello es conveniente que las empresas del

sector no sólo estén preparadas para su adaptación, sino que también contribuyan en lo posible en las acciones de mitigación, tales como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Estas acciones pueden abordarse de diversas formas, requiriéndose un conocimiento que debería ser aportado y compartido dentro del sector [7], ya que su aplicación internacional beneficiaría al conjunto del mismo [8].

Otra consideración a tener en cuenta es el paulatino aumento de la importancia de la sostenibilidad del producto en la decisión de compra de los consumidores [9], máxime en un producto como el vino.

Por otra parte, además de los muchos trabajos acerca de suministro de energía renovable para bombeos de riego, se ha avanzado en su estudio concreto para los cultivos mediterráneos, entre los cuales se encuentra la vid [10].

1.2. El proyecto LIFE REWIND

La energía que se utiliza en agricultura es una fuente de emisiones de gases de efecto invernadero. Para reducir esas emisiones, el proyecto europeo LIFE REWIND aborda el suministro de esta demanda energética desde fuentes renovables. Su nombre completo es “Sistemas rentables de energía renovable de pequeña escala en la industria agroalimentaria y las áreas rurales: una demostración en el sector vitivinícola”. Su acrónimo procede del nombre corto en inglés, “Renewable Energy in the Wine INDustry”, dando como resultado “REWIND”. El programa LIFE es el instrumento financiero de la Unión Europea de apoyo a los proyectos medioambientales, de conservación de la naturaleza y de acción por el clima. Concretamente, LIFE REWIND tiene una duración de 37 meses y un presupuesto de 1.562.994 €, cofinanciado por la Comisión Europea.

Aunque el proyecto es de aplicación más amplia en el sector agrario, se ha tomado como caso de estudio y demostrador el sector vitivinícola. Su gran extensión e importancia en la Europa meridional, así como el ser la vid uno de los más importantes cultivos mediterráneos, hace de la viticultura un excelente modelo. Más aún dada la sensibilidad de la vid al cambio climático [11]. Así, el objetivo del proyecto LIFE REWIND es demostrar que el uso de energías renovables es viable técnica, medioambiental y económicamente, así como promover su uso. De esta forma, contribuye al cumplimiento de los objetivos medioambientales de la Unión Europea.

2. Metodología

2.1. Recogida de datos del sector

La obtención de datos agregados del sector se ha hecho mediante consultas a fuentes estadísticas, europeas y españolas. Para la obtención de datos específicos para su tratamiento en el ámbito del proyecto, se ha elaborado un cuestionario destinado a propietarios y operadores de instalaciones vitivinícolas, que se ha cumplimentado por una muestra representativa de empresas del sector vitivinícola, pertenecientes a todas las regiones españolas. Igualmente, aunque en menor número, se han mantenido entrevistas personales y se han obtenido datos históricos detallados de costes energéticos, así como datos cualitativos de interés. También se han efectuado mediciones in situ en diversas instalaciones y ubicaciones.

En particular, las mediciones y tomas de datos más detalladas se efectuaron en las instalaciones donde se desarrollaría la acción demostradora y se ubicarían los prototipos.

2.1.1. Demanda energética

Para afrontar el estudio del suministro de energía renovable al sector, es necesario caracterizar su demanda energética. Con ese objetivo se han recabado datos de diferentes orígenes, indicados en la Tabla 1.

Desde un primer momento se identificaron los dos ámbitos, viñedo y bodega, donde se produce no sólo la actividad, sino también una demanda de energía bien diferenciada. En consecuencia de ello, todos los análisis y estudios posteriores se hicieron de forma diferenciada para ambos entornos.

Tabla 1. Datos de demanda.

Origen	Tipo de dato
Facturas del suministro eléctrico	Históricos de consumo eléctrico
	Coste de la electricidad
	Estacionalidad de la demanda
Albaranes y anotaciones del usuario	Históricos de consumo de gasóleo
	Costes de mantenimiento
Precios de mercado	Coste de la instalación
Entrevistas y encuestas	Gestionabilidad de la demanda
	Criterios de gestión
Mediciones in situ	Potencias y consumos

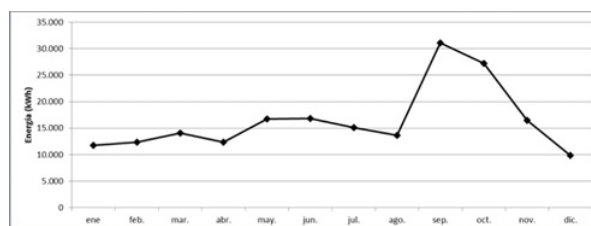


Figura 1. Consumo eléctrico anual de una de las bodegas estudiadas.

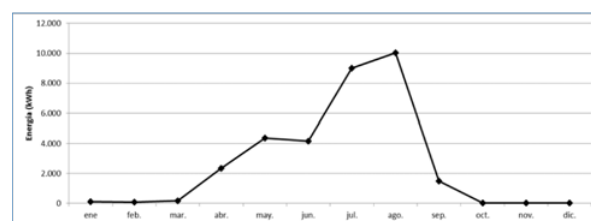


Figura 2. Consumo eléctrico anual de uno de los bombes de riego estudiados.

La demanda de electricidad en las bodegas ha resultado ser relativamente estable a lo largo del año, con la excepción de un período próximo y posterior a la vendimia y procesos de refrigeración. Adicionalmente se han encontrado variaciones derivadas de consumos de calefacción o climatización de zonas de trabajo y oficinas, en aquellos casos que dichos consumos se alimentaban de electricidad. La Fig. 1 muestra el consumo eléctrico anual, mes a mes, de una de las bodegas estudiadas.

La demanda de electricidad en los viñedos sólo se ha considerado en los casos en que había bombes de agua para riego, que en todos los casos era por goteo. Estos bombes podían ser de extracción/elevación, de presurización o de ambos tipos. Su demanda ha resultado ser muy estacional, nula durante una parte del año y concentrada obviamente en la temporada de riego. La Fig. 2 muestra el consumo eléctrico anual, mes a mes, de uno de los sistemas de riego de viñedo estudiados.

Un dato relevante a tener en cuenta en los sistemas de riego es la existencia o no de una balsa de acumulación de agua. En caso de existir es frecuente la existencia de dos bombes, uno para alimentar agua a la balsa y otro para impulsar el agua desde la balsa al sistema de riego presurizado. En este caso, la existencia de dos bombes y una balsa de acumulación permite un alto grado de gestionabilidad, accionando una bomba, la otra o ambas de forma relativamente independiente.



Figura 3. Estación de medida autónoma ubicada en viñedo.

2.1.2. Recursos renovables

Una vez identificadas las áreas geográficas con presencia de explotaciones vitícolas, se obtuvieron los datos de recurso eólico y solar disponibles, desde las fuentes indicadas en la Tabla 2.

Tabla 2. Datos de recursos renovables.

Origen	Tipo de dato
Sistemas de información geográfica fotovoltaica	Recurso solar
Bases de datos bibliográficas	Recurso eólico
Campañas de mediciones con sensores in situ	Recurso solar
	Recurso eólico
	Temperatura

En varios de los casos de estudio se llevó a cabo una campaña de medición in situ de los recursos eólico y solar, mediante la instalación de estaciones de medida, dotadas de dos anemómetros, veleta y piranómetro. Tres de las estaciones (Fig. 3) eran completamente autónomas, ya que se alimentaban de energía solar y enviaban los datos a un servidor central mediante comunicación GSM. El resto de las estaciones requerían visitas periódicas, ya que estaban alimentadas a pilas y grababan la información en tarjetas de memoria.

Los anemómetros fueron colocados para la medición del viento a baja altura, ya que por el orden de magnitud de la energía necesaria, la posible generación eólica a instalar sería del tipo minieólico, muy diferente de los grandes aerogeneradores para inyección a red. La campaña de medición se prolongó durante más de tres años.

Los datos de recurso eólico resultaron ser muy diferentes (Fig. 4) de una ubicación a otra, aun a distancias menores de 150 km, lo que es coherente con la gran influencia que ejercen el relieve, la rugosidad del suelo y los obstáculos del terreno. También se observó una gran variación de un año a otro, así como la existencia de períodos de calma, con ausencia de viento a veces durante más de una semana.

En cuanto al recurso solar, resultó ser muy similar (Fig. 5) entre las ubicaciones de las diversas estaciones de medida, aún a distancias de hasta 150 km. Esto es coherente con que el recurso solar depende principalmente de la latitud geográfica y en menor medida de otros factores, como la altitud, la claridad atmosférica y el albedo del terreno.

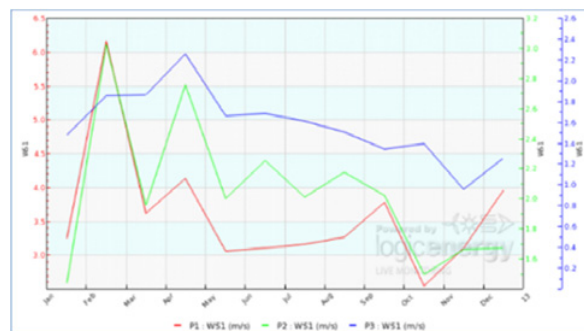


Figura 4. Recurso eólico en gráfica anual, medido en tres estaciones distantes entre sí menos de 150 km.

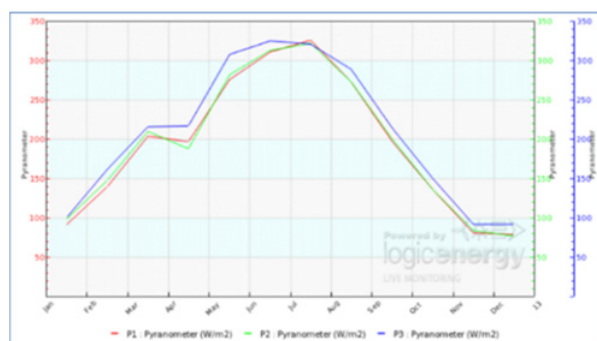


Figura 5. Recurso solar en gráfica anual, medido en tres estaciones distantes entre sí menos de 150 km.

El ámbito de estudio de los recursos renovables se limitó al de las zonas europeas de mayor presencia del sector vitivinícola, donde consecuentemente con el clima y la latitud geográfica se encontró una gran variedad de recurso eólico y una relativa uniformidad del recurso solar.

2.2. Búsqueda de soluciones óptimas

Con los datos obtenidos de demanda energética de bodegas y viñedos, se realizaron mediante ordenador numerosas simulaciones de sistemas de generación renovable. La búsqueda de soluciones óptimas se hizo por métodos heurísticos, empleando el software de simulación y optimización iHOGA [12]. Este programa utiliza algoritmos genéticos para determinar el dimensionado de sistemas de generación renovable que minimicen el coste de la energía, las emisiones de CO₂ o ambos criterios.

En el proceso de optimización mono objetivo, se buscan los mínimos de una única función, como puede ser el coste de la energía. En la Fig. 6 se muestra una gráfica de iHOGA al término de una optimización mono objetivo, con las soluciones ordenadas por su coste de energía (línea roja). El coste de la energía se ha comparado según su LCE (Levelized Cost of Energy) [13].

También pueden buscarse las configuraciones de sistemas de energía con mínimas de emisiones de CO₂. Sin embargo, si no se tiene en cuenta su coste pueden resultar soluciones no competitivas económicamente y por lo tanto de difícil aceptación en la práctica. Para evitar esto, se recurre a la optimización multiobjetivo, teniendo en cuenta ambos criterios: coste de la energía y emisiones de CO₂ [14]. Este proceso da lugar a un número limitado de soluciones que pueden ser mostradas en un diagrama de Pareto (Fig. 7), eligiendo luego de entre ellas aquella que se considere mejor compromiso entre costes y emisiones.

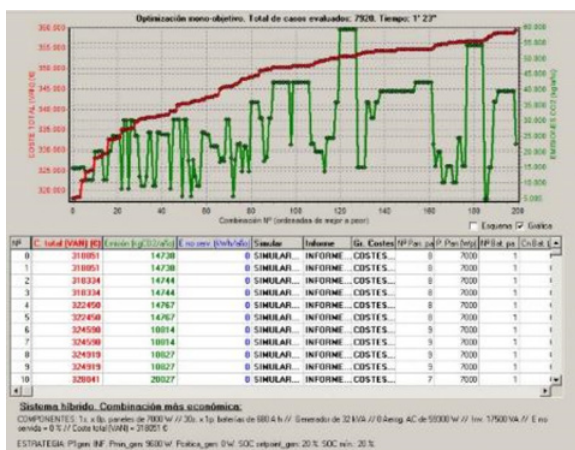


Figura 6. Gráfica de soluciones de iHOGA al término de una optimización mono objetivo (coste de energía).

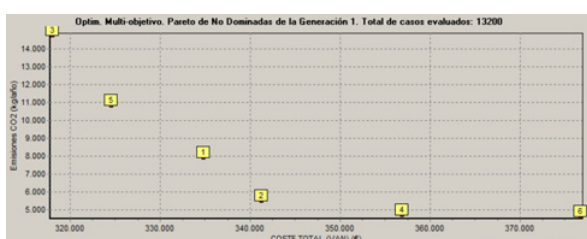


Figura 7. Diagrama de Pareto obtenido en optimización multiobjetivo con iHOGA.

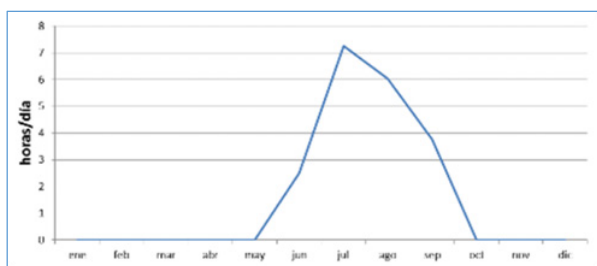


Figura 8. Perfil anual de la demanda hídrica del riego del viñedo.

Con los procedimientos descritos se han estudiado los dimensionados y configuraciones de diferentes casos de estudio y en particular el caso donde se han instalado los prototipos.

2.3. Implementación de los prototipos

Los prototipos se han definido con una función demostrativa. Conforme a lo anteriormente expresado, se ha estudiado la demanda de energía eléctrica de la bodega y viñedos de Viñas del Vero, situados en la región vitivinícola del Somontano en Barbastro (España).

La bodega, como sucede en la mayor parte de los casos, obtiene su electricidad de la red de distribución eléctrica. En un caso general, la configuración adoptada en bodega hubiera consistido en un conjunto de generación fotovoltaica en autoconsumo conectado a la red, de tal forma que aportase una fracción del total de la electricidad consumida por la bodega. Sin embargo, para un mayor efecto demostrador y también a causa de la inapropiada normativa española sobre autoconsumo, se optó por identificar un consumo concreto y alimentarlo al 100% con energía renovable, sin conexión a la red. La instalación

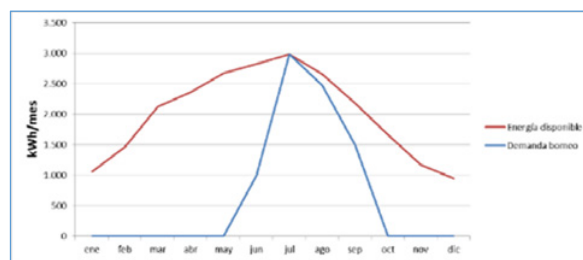


Figura 9. Gráficas anuales de energía disponible y energía demandada.

escogida fue la estación que depura el agua utilizada en la propia bodega, para su posterior uso en riego, cerrando así el ciclo de sostenibilidad del agua.

De entre los diversos sistemas de riego por goteo existentes en los viñedos se escogió el más próximo a la bodega, que toma el agua de la ya mencionada estación depuradora e incluye un bombeo de elevación hasta la balsa de riego y otro de presurización al sistema de goteo.

La demanda en horas de funcionamiento de este tipo de riegos (Fig. 8) es muy estacional, máxima en verano y nula en invierno. La Fig. 9 compara mes a mes a lo largo del año la energía que puede producir un generador fotovoltaico con la demanda de energía del sistema de riego. Así, existe una energía excedentaria, producida en períodos en que no existe demanda.

En una aplicación comercial se evitaría esto mediante la utilización de un generador híbrido fotovoltaico-diésel, que corresponde a la solución económicamente óptima. Sin embargo, para el prototipo se optó por mostrar una novedosa posibilidad de aprovechamiento de la energía excedentaria. Como no resulta viable el almacenamiento a largo plazo de electricidad en baterías, se optó por almacenar esa energía excedentaria en forma de hidrógeno. En el prototipo, un hidrolizador utiliza la electricidad excedentaria para producir hidrógeno por medio de electrolisis del agua, que posteriormente es comprimido y almacenado a presión. El hidrógeno puede utilizarse para satisfacer la otra demanda de energía en el viñedo: la maquinaria agrícola y la movilidad del personal.

Aunque el hidrógeno podría sustituir al gasóleo utilizándose de forma similar en motores de combustión interna, es mucho más eficiente y limpio si en el propio vehículo vuelve a transformarse en electricidad, mediante una pila de combustible, para alimentar motores de tracción eléctricos. Para mostrar esta posibilidad, el prototipo incluye un vehículo todo terreno eléctrico (Fig. 10) que se modificó incorporándole una pila de combustible, los depósitos de hidrógeno y los sistemas de control necesarios.

En su conjunto, los prototipos consisten en un sistema de generación de origen fotovoltaico, que produce electricidad de iguales características que la proporcionada por la red eléctrica trifásica. Además de los paneles fotovoltaicos, incorpora inversores, baterías, la mencionada producción de hidrógeno y diversos elementos auxiliares, de medida y de control.

Para la ubicación de los campos fotovoltaicos se ha estudiado el horizonte de las posibles ubicaciones, mediante fotografías a 360°, la trayectoria anual del sol y los obstáculos del entorno. En cuanto a la colocación de los paneles fotovoltaicos en los prototipos, se han



Figura 10. Vehículo todo terreno con pila de combustible y alimentado por hidrógeno.



Figura 11. Conjunto de paneles en estructura metálica sobre suelo.



Figura 12. Conjunto fotovoltaico flotante, durante su montaje.

utilizado tres tipos de soporte, a efectos comparativos y demostrativos. Uno de ellos es un seguidor solar a dos ejes, semejante a los utilizados en los parques solares de generación para venta a red.

El segundo conjunto de paneles (Fig. 11) está montado en un soporte de estructura metálica fija sobre el terreno. En este caso, la fijación al suelo se ha hecho mediante contrapesos prefabricados, lo que permite un montaje sin obra civil y un desmontaje sin residuos al final de su ciclo de vida. La posición de los paneles es ajustable manualmente, bien sea para maximizar la producción en la temporada de riego o para la demanda de bodega.

El tercer conjunto de paneles (Fig. 12) constituye un prototipo en sí mismo y es un sistema fotovoltaico flotante especialmente diseñado para balsas de riego. Respecto a otros soportes flotantes, se diferencia en que está pensado para adaptarse a las fluctuaciones de nivel producidas por el llenado y vaciado completos de la balsa y en que la posición de los paneles fotovoltaicos se ha definido para la temporada de riego.

La colocación de los paneles sobre la balsa evita la utilización, preparación y vallado de terreno, esperándose también obtener efectos positivos como la reducción de pérdida de agua de la balsa por evaporación y la mejora del comportamiento térmico de los paneles fotovoltaicos.

En los sistemas de generación aislados, no conectados a la red, es clave que la energía se gestione de tal forma que se eviten tanto períodos donde falte energía como otros en los que se desaproveche. Por ello, otra de las innovaciones incorporadas a los prototipos es un avanzado



Figura 13. Una de las pantallas del sistema de control.

software de control y gestión de la energía (Fig. 13). Algunos de los consumos relacionados con la depuración se gestionan de forma automática, mientras que otros, como el riego, se han dejado a criterio del usuario, de forma manual o programable. El sistema es capaz de prever el estado de energía para las próximas horas para permitir gestionarlo en consecuencia. Su manejo y supervisión puede efectuarse de forma remota con un ordenador, una tableta o un teléfono móvil conectado a internet. También a través de internet puede vigilarse o mostrarse la instalación, gracias a la existencia de unas cámaras web motorizadas.

2.4. Análisis de impactos

2.4.1. Impacto medioambiental

La medición del impacto medioambiental de los prototipos se efectúa comparando la situación inicial, es decir, el uso de la red eléctrica, un grupo electrógeno y un vehículo diésel, con la nueva situación que los ha sustituido por un sistema de generación fotovoltaico y un vehículo con pila de combustible de hidrógeno. Para ello, se identifica y caracteriza la situación ex ante y ex post a la instalación de los prototipos, en lo relativo a sus impactos ambientales, tanto en bodega (red eléctrica) como en viñedo (generación diésel) y movilidad (vehículo todo terreno). Se establecen tres grupos de parámetros de control medioambiental: el primero incluye las emisiones de CO₂, SO₂ y NO_x por kWh; el segundo, la reducción anual de consumo de lubricantes y filtros; el tercero, los niveles de ruido en el entorno durante la operación del sistema.

Se identifican los coeficientes de paso de los vectores energéticos: electricidad de la red y gasóleo. Se calculan los valores iniciales de los parámetros de control y las emisiones en función de los coeficientes de paso anteriores. Finalmente se calculan las emisiones evitadas y la reducción de ruido y se calculan las emisiones producidas durante la fabricación de los módulos FV.

2.4.2. Impacto socioeconómico

Se desea evaluar el impacto socioeconómico sobre la población y sociedad local en los territorios implicados en el proyecto. Se ha explorado la metodología existente, revisando diversas opciones de entre las utilizadas para la evaluación de impactos socioeconómicos [15], no existiendo una alternativa única consolidada y resultando algunas no idóneas.

Para evaluar el impacto en los grupos de interés se ha determinado que la metodología apropiada es el método de valoración contingente. Este método se incluye entre

Tabla 3. Grupos de interés para cuantificación del impacto socioeconómico.

		Composición
Personas		Habitantes de la comarca
		Visitantes
		Trabajadores de la comarca
		Consumidores de productos de la empresa
Empresas	Clientes	Bodegas vitícolas en la zona
		Otras empresas susceptibles de instalar energías renovables
	Proveedores	Servicios: alojamientos, restauración, comercio...
		Materiales para sistemas energéticos renovables
Instituciones	Públicas	Diputación, comarca, ayuntamientos
	Privadas	Asociaciones: empresarios, consumidores
	Comunidad Científica	Centros de formación
		Centros de investigación



Figura 14. Una de las pantallas de la aplicación de diagnóstico de viabilidad.

las formas de valoración directa, en concreto por encuesta, e intenta medir en unidades monetarias los cambios en el nivel de bienestar de las personas y la satisfacción de las empresas e instituciones implicadas, debidos a la puesta en marcha de sistemas más respetuosos con el medio ambiente, en nuestro caso, el proyecto LIFE REWIND. La Tabla 1 muestra los grupos de interés identificados, a los que se va a consultar.

2.5. Métodos de ayuda a la replicación

Uno de los objetivos que se desea conseguir es la replicación de las soluciones propuestas. Para ello se han programado numerosas acciones de difusión del proyecto y de sus resultados.

Los prototipos se conciben para una utilización demostrativa: son visitables, dotados de paneles informativos y con entrega de folletos explicativos a los visitantes. Además, desde internet es posible la visita remota accediendo a las cámaras web motorizadas de alta definición, al ordenador de control y al servidor que alberga datos de su funcionamiento y de sus sensores, incluidos gráficos y estadísticas.

Para facilitar la replicación, se crean dos herramientas informáticas. Una primera que permite realizar un primer diagnóstico de viabilidad de incorporación de energía renovable a cada instalación concreta, sean bodegas, riegos, granjas, etc. La Fig. 14 muestra la pantalla en

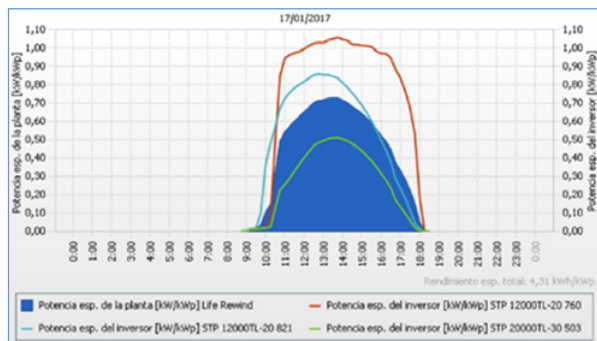


Figura 15. Rendimientos de los tres diferentes campos fotovoltaicos.

que se introduce la ubicación del caso a considerar. Una segunda herramienta informática se ha desarrollado para dimensionado técnico, que facilita la replicación del diseño propuesto, adaptándolo a cada caso concreto.

3. Resultados y discusión

Por no estar aún disponibles los resultados definitivos, así como por su previsible extensión, su publicación completa será objeto de varias publicaciones futuras de los ámbitos energético, medioambiental y socioeconómico. Sin embargo, se pueden mencionar algunos resultados cualitativos que aparecen claramente en los datos ya disponibles.

De los datos obtenidos se observa que las demandas energéticas de diferentes bodegas comparten ciertas características comunes, aún en las diferentes regiones y climas estudiados. La gran mayoría obtienen la electricidad de la red eléctrica, bien sea por estar ubicadas o muy próximas a núcleos urbanos o bien porque se llevó hasta allí la red en el momento de su construcción. Los costes que pagan las bodegas por la electricidad dependen del contrato de suministro y de las tarifas eléctricas vigentes, por lo que pueden variar considerablemente incluso de un país a otro.

En cuanto a los viñedos, también presentan características compartidas, especialmente las derivadas de la estacionalidad del riego (si lo hay) y de los trabajos con maquinaria agrícola. Existen meses de demanda prácticamente nula, sin embargo el almacenamiento en baterías a largo plazo no es viable. El perfil estacional del recurso solar guarda considerable semejanza con el de la demanda de energía de las instalaciones de riego estudiadas, lo que favorece el uso de generación fotovoltaica. Por el contrario, el recurso eólico presenta un perfil estacional muy diferente del de la demanda. Debido a la moderada cantidad de energía demandada para los usos estudiados, los aerogeneradores que serían apropiados corresponden al segmento de minieólica, con bujes a poca altura sobre el suelo, donde la velocidad del viento es muy escasa. A ello se añade que, en las zonas estudiadas de viñedo, el recurso eólico es escaso o moderado. Todo ello dificulta el uso de generación eólica.

La existencia en el prototipo de tres campos fotovoltaicos ubicados muy próximos pero montados sobre diferentes clases de soporte permite la toma de datos y su estudio comparativo. El mayor rendimiento y la curva de producción diaria más aplanada se obtiene con el seguidor

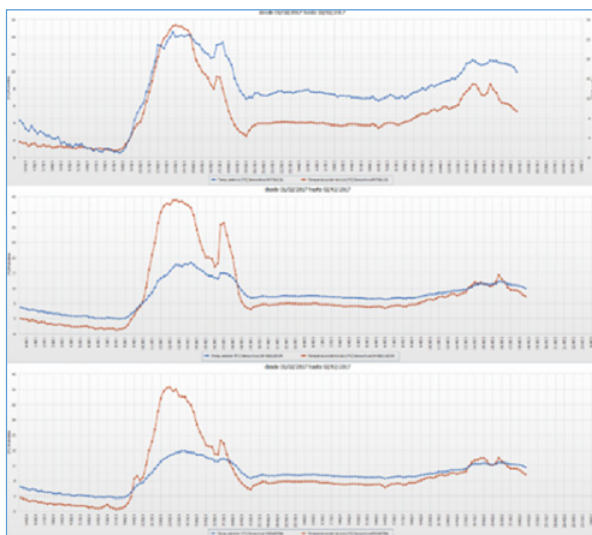


Figura 16. Gráficas de temperatura ambiente y de módulo de los tres campos fotovoltaicos (balsa, seguidor y suelo).

solar, como era de esperar. La gráfica de rendimientos específicos mostrada en la Fig. 15 y correspondiente a un día de invierno, muestra que el segundo mejor corresponde al soporte en suelo, cuya posición es ajustable y está adaptada al período posterior a la vendimia, mientras que el peor rendimiento se obtiene en el campo de la balsa, diseñado para la época veraniega. La misma gráfica en un día de la temporada de riego mostraría un rendimiento mejor en el campo de la balsa y peor en el campo de suelo, a no ser que en éste se reajustase la posición de los paneles para dicha temporada.

Continuando con la comparativa de los tres tipos de soporte para los paneles fotovoltaicos, la Fig. 16 muestra para cada conjunto de paneles la gráfica de temperatura ambiente (en color azul) y temperatura interna del panel (en color rojo). Esta gráfica abarca dos días consecutivos, el primero soleado y el segundo nublado. En el primero se observa el aumento de la temperatura interna debido a la producción de electricidad, mientras que el día nublado no existe ese aumento y ambas temperaturas (líneas roja y azul) se mantienen próximas. En la gráfica superior, correspondiente a los paneles sobre la balsa, se observa un comportamiento térmico muy diferente a las otras dos, manteniéndose más fríos los paneles, incluso por debajo de la temperatura ambiente. Esto requiere un estudio exhaustivo de la colección de datos ya disponible, aunque apunta a un comportamiento térmico claramente diferenciado.

4. Conclusiones

Igualmente a lo indicado en el apartado de resultados, al no estar aún éstos analizados completamente, aquí sólo pueden avanzarse algunas conclusiones provisionales. Su descripción completa se hará en publicaciones futuras de ámbito energético, medioambiental y socioeconómico.

En el sector vitivinícola, las soluciones propuestas permitirán reducir las emisiones de CO₂ asociadas al proceso y al producto. Al intervenir únicamente en el origen de la energía utilizada, no resulta necesaria ninguna adaptación o modificación del proceso de trabajo.

La principal conclusión del estudio es que la incorporación de energía renovable en el sector vitivinícola es posible de forma rentable, reduciendo las emisiones asociadas al proceso y por lo tanto también las imputables a las empresas y al producto. Cada instalación requiere un estudio específico. Los mejores candidatos son los bombes para riego por goteo actualmente alimentados por generadores diésel. En segundo lugar están las bodegas.

4.1. Sistemas aislados: Viñedo

Para alimentar instalaciones no conectadas a la red eléctrica, como los sistemas de riego, en muchos casos los sistemas de generación híbridos fotovoltaico-diésel pueden ser la solución óptima, tanto por el coste de la energía como por la reducción de emisiones de CO₂. Esta opción de suministro debería ser tenida en cuenta tanto para nuevas instalaciones como para la renovación de las ya existentes, efectuando una comparativa económica y medioambiental en competencia con las soluciones convencionales.

Los sistemas aislados, no conectados a la red, 100% fotovoltaicos, presentan una considerable fracción de energía excedentaria que puede ser utilizada para otros fines. Mientras que los sistemas fotovoltaicos o híbridos pueden ser rentables según los casos, la producción y uso de hidrógeno en maquinaria agrícola y movilidad es técnicamente viable pero todavía económicamente inadecuada para aplicación comercial.

En la revisión de instalaciones que se ha realizado, se ha detectado que en muchos casos existe un potencial de reducción de la demanda y del gasto energético mediante la incorporación de medidas de eficiencia como la compensación de reactiva, la incorporación de variadores de frecuencia, etc. En algunas instalaciones de riego, el dimensionado hidráulico no es adecuado, lo que habría que cuidar especialmente en el diseño de nuevas instalaciones, incluso teniendo en cuenta el coste y origen de la energía que van a utilizar.

En el caso de bodegas situadas en zonas alejadas del suministro, es de aplicación parte de lo dicho en este apartado sobre sistemas aislados. La opción aislada híbrida debería ser tenida en cuenta, efectuando una comparativa económica y medioambiental en competencia con la construcción de una extensión de la red eléctrica.

4.2. Sistemas conectados a la red: Bodegas

En general, la instalación de una fracción de energía renovable en bodegas puede proporcionar importantes ahorros en el suministro eléctrico, especialmente si se dimensiona de forma adecuada.

Al igual que se puede construir una bodega utilizando técnicas de arquitectura bioclimática se reduce la demanda térmica de la instalación, la integración arquitectónica de generación fotovoltaica puede reducir drásticamente la demanda total de energía eléctrica.

En forma más sencilla, los paneles fotovoltaicos pueden instalarse en las cubiertas, aparcamientos o en otras superficies disponibles con orientación adecuada. Esto permite integrar la generación en las instalaciones existentes, sin causar ninguna afeción a sus actividades.

4.3. Futuros trabajos

Varios estudios se están preparando como consecuencia de los datos obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto LIFE REWIND, relativos a los resultados cuantitativos económicos, medioambientales y socioeconómicos. Igualmente respecto a los efectos de la colocación de los paneles sobre la balsa, al posicionamiento de los paneles para adecuarse a la demanda estacional y a la utilización del hidrógeno en maquinaria y movilidad agrícola.

Los autores agradecen al programa LIFE de la Comisión Europea su soporte financiero al proyecto LIFE REWIND (LIFE13/ENV/ES/000280) y también a Viñas del Vero S.A por su colaboración.

Referencias

- [1] P. Aigrain, F. Brugière, E. Duchêne, I. Garcia de Cortazar, J. Gautier, E. Giraud Héraud, H. Hannin, N. Ollat, J. M. Touzard, *BIO Web Conf.* **7**, 3015 (2016)
- [2] M. R. Mozell, L. Thach, *Wine Econ. Policy* **3**, 81–89 (2014)
- [3] I. Bernetti, S. Menghini, N. Marinelli, S. Sacchelli, and V. A. Sottini, *Wine Econ. Policy* **1**, 73–86 (2012)
- [4] G. Benedetto, *Wine Econ. Policy* **2**, 33–41 (2013)
- [5] S. Penavayre, V. Lempereur, A. P. Huet, S. Gillet, C. Pernet, A. Besnier, L. Farrant, F. Jolibert, *BIO Web Conf.* **7**, 01009 (2016)
- [6] F. G. Rosner, W. Dobritzhofer, A. Geyrhofer, J. Glatt, S. Großauer, S. Pchtrager, F. Regner, N. Sauberer, H. Scheiblhofer, G. Sellner, G. Soja, K. Vogl, F. Zehetner, *BIO Web Conf.* **5**, 1022 (2015)
- [7] J. Galbreath, *Int. J. Wine Bus. Res.* **27**, 220–230 (2015)
- [8] S. Sabbado Flores, R. M. Vieira Medeiros, *BIO Web Conf.* **7**, 3018 (2016)
- [9] D. Borra, A. Viberti, S. Massaglia, A. Del Vecchio, *BIO Web Conf.* **3**, 03003 (2014)
- [10] J. Carroquino, R. Dufo-Lpez, J. L. Bernal-Agustn, *Renew. Energy* **76**, 566–574 (2015)
- [11] J. Rochard, *BIO Web Conf.* **7**, 1010 (2016)
- [12] R. Dufo-Lpez, J. L. Bernal-Agustn, *Sol. Energy* **79**, 33–46 (2005)
- [13] W. Short, D. Packey, T. Holt, *A manual for the economic evaluation of energy efficiency and renewable energy technologies*, *Univ. Press Pacific*, **2**, 120 (2005)
- [14] R. Dufo-Lpez, J. L. Bernal-Agustn, J. M. Yusta-Loyo, J. A. Domnguez-Navarro, I. J. Ramirez-Rosado, J. Lujano, I. Aso, *Appl. Energy* **88**, 4033–4041 (2011)
- [15] C. Beber, M. Padilla, M. Razès, F. Fort, J. L. Rastoin, *BIO Web Conf.* **7**, 3009 (2016)