

INTEGRACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL PROCESO VITIVINÍCOLA

Estudio de un caso concreto

Memoria

Autor: Javier Carroquino

Director: José Luis Bernal
Codirector: Rodolfo Dufo

Máster Oficial en Sostenibilidad Energética y Energías Renovables
Programa Oficial de Posgrado en Ingeniería Eléctrica y Energética

Curso académico 2009-2010

Octubre 2010

0 Resumen

El presente trabajo aborda el estudio de un caso concreto y real de la industria vitivinícola, centrándose en los consumos eléctricos y los recursos energéticos disponibles, planteando la posibilidad de integrar generación renovable.

En primer lugar se exponen los motivos que justifican la búsqueda de sostenibilidad desde un enfoque sectorial y más concretamente para el sector vitivinícola. Se efectúa una aproximación a las características del sector y a sus grandes cifras, desde el punto de vista del consumo eléctrico. Se refieren las iniciativas existentes orientadas a la sostenibilidad, tanto comerciales como en el campo de la investigación. Por fin, se constata la ausencia casi absoluta de trabajos que afronten la demanda energética, especialmente eléctrica, del sector y su satisfacción con fuentes renovables.

En el estudio del caso concreto se diferencia entre las instalaciones de riego y la bodega y oficinas, con perfiles de demanda muy diferentes. A su vez, algunos de los riegos están conectados a red y otros alejados de ella y actualmente alimentados únicamente con generación Diesel. Para cada una de estas instalaciones se describe la situación actual, los consumos y costes y el perfil de la demanda. Una vez planteado cada caso, se hace una primera revisión de las mejoras posibles sin recurrir todavía a fuentes renovables. De esta forma, las instalaciones alcanzarían una configuración más racional, paso lógico antes de abordar la integración de generación renovable.

Se obtienen datos de los recursos renovables presentes en el entorno de las instalaciones y del proceso.

Se aborda un primer estudio de integración de generación renovable, buscando el mix de generación óptimo desde el punto de vista económico para cada instalación estudiada. Se efectúan análisis de sensibilidad respecto a las variables que pueden sufrir cambios en los escenarios previsibles (tarifas eléctricas, coste del combustible y coste de la generación renovable), para determinar las condiciones que pueden hacer viable económicamente la inversión necesaria.

Se aborda un segundo estudio, buscando el mix óptimo para la reducción de emisiones, tanto en las instalaciones actualmente alimentadas por generación Diesel como para las conectadas a red, en este caso manteniendo la conexión y posible venta de electricidad a la red.

Por último se extraen, en la medida de lo posible, conclusiones generales aplicables a casos similares del sector, tanto para instalaciones aisladas como conectadas a la red. También se efectúan comentarios, fruto de todo lo anterior, relativos a la implantación de energía renovable en el sector vitivinícola.

1 Índice

0	Resumen	1
1	Índice	2
2	Introducción y motivación	3
3	Revisión del uso de energía renovable en el sector vitivinícola	4
3.1	Aproximación a las demandas energéticas del proceso.....	4
3.2	Situación actual del sector	5
3.3	Revisión de artículos	6
4	Caso de estudio: Tempore	7
4.1	Riego conectado a red: San Jorge.....	7
4.1.1	Descripción	7
4.1.2	Perfil de la demanda.....	7
4.1.3	Tarifa y factura eléctrica	9
4.1.4	Mejoras aplicables.....	10
4.2	Riego aislado: Masatrigos y Merla	10
4.2.1	Descripción	10
4.2.2	Perfil de la demanda.....	11
4.2.3	Generación Diesel	11
4.2.4	Mejoras aplicables.....	11
4.3	Bodega y oficinas	13
4.3.1	Descripción	13
4.3.2	Perfil de la demanda.....	13
4.3.3	Tarifa y factura eléctrica	13
4.3.4	Mejoras aplicables.....	13
5	Integración de fuentes de energía renovables	14
5.1	Recursos renovables.....	14
5.1.1	Solar	14
5.1.2	Eólico	15
5.1.3	Otros.....	16
5.2	Optimización económica	17
5.2.1	Instalaciones aisladas	18
5.2.2	Instalaciones conectadas a red.....	24
5.3	Análisis de sensibilidad	26
5.3.1	Instalaciones aisladas: combustible, interés del dinero, acumulación.....	26
5.3.2	Instalaciones conectadas a red: tarifa eléctrica, venta a la red y primas.....	27
5.4	Optimización de emisiones	27
5.4.1	Instalaciones aisladas	28
5.4.2	Instalaciones conectadas a red.....	29
6	Conclusiones	31
6.1	Instalaciones aisladas	31
6.2	Instalaciones conectadas a red.....	32
6.3	El sector vitivinícola y la energía renovable	33
7	Reconocimientos	34
8	Referencias	35
8.1	Publicaciones y artículos	35
8.2	Enlaces web	35

2 Introducción y motivación

Para alcanzar la sostenibilidad en las actividades humanas, resulta clave la progresiva sustitución de los combustibles fósiles por otras fuentes de energía renovables. Los principales consumos se realizan en las viviendas, los transportes y la industria. La agricultura es responsable del 9% del total de las emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea. Desde hace tiempo, la electricidad tiene un papel fundamental como vector energético. Con la previsible incorporación del vehículo eléctrico y el progresivo encarecimiento del uso de los combustibles fósiles, la producción y distribución de energía eléctrica cobrará aún mayor protagonismo. Ante esta expectativa, cabe recordar que la generación centralizada y el transporte consiguiente imponen una cuota de pérdidas que penalizan el rendimiento conjunto del sistema. En este contexto, la generación de energía eléctrica a partir de los recursos disponibles en el entorno de los puntos de consumo presenta a priori multitud de ventajas. Por una parte se utilizan recursos renovables locales, con lo que significa de independencia, sostenibilidad y reducción de emisiones. Por otra, se evitan las pérdidas de transporte en la red, pudiéndose llegar a aportarle estabilidad en un nuevo esquema de generación distribuida y *smart grid*. En último término, se soslayan las dificultades sociales, económicas y medioambientales derivadas de aumentar los tendidos de la red.

La progresiva transformación de cada actividad hacia la sostenibilidad se enfrenta a la prueba de su viabilidad económica. Esta aparente antítesis entre lo que es sostenible y lo que es viable no pasa de ser sino una paradoja semántica. Sin embargo, ello no obsta para que la realidad actual obligue a afrontar las decisiones de inversión desde una óptica de oportunidad financiera, conociendo las consecuencias económicas y en competencia con las soluciones tradicionales.

El abanico de actividades y procesos donde puede plantearse la introducción de energía renovable es enorme, manteniendo entre ellos tanto características comunes como diferenciadoras. Para valorar las posibilidades de implantación, una vía apropiada es acometer los estudios para cada tipología de negocio. Esto requiere abarcar los diferentes eslabones del proceso, lo que dispersa un tanto el trabajo, renunciando a la penetración completa en cada uno de ellos. Sin embargo, siendo el objetivo la ayuda a la toma de decisiones empresariales, la orientación inversora se ve favorecida por la posibilidad de tomar en consideración los condicionantes estratégicos y sectoriales. Así, un estudio de incorporación de energías renovables a una actividad económica concreta puede convertirse en herramienta práctica de cara a su implementación, así como en ayuda para la toma de decisiones en el sector.

El sector vitivinícola parece a priori muy adecuado para la utilización e integración de energías renovables. Se combinan:

- La existencia de instalaciones no siempre próximas a la red eléctrica.
- La presencia significativa de recursos renovables autóctonos.
- La creciente orientación ecológica de la viticultura de calidad.

En Aragón y regiones limítrofes existen muchas bodegas inmersas en un mercado donde la innovación y la diferenciación son cada vez más necesarias y más difíciles de conseguir. Por todo ello, es procedente abordar el estudio de integración de energías renovables en esta actividad. Esa reorientación energética en el sector se dará seguramente de forma inevitable tarde o temprano. Su planteamiento presente puede aportar luz sobre la viabilidad actual o previsible. De esa forma puede ser útil, tanto en la elaboración de proyectos y planes a futuro como en la toma de decisiones estratégicas a partir de hoy.

El caso concreto de partida del estudio es el de [Bodegas Tempore](#). Ubicada en Lécera, provincia de Zaragoza, dispone además de la bodega propiamente dicha de diversas

instalaciones de riego, tanto conectadas como aisladas de la red. Su orientación estratégica es la producción de vinos y aceites de calidad, comercializados en gran parte en mercados extranjeros. Su proceso agrícola es ecológicamente responsable. Tanto la dirección como algunos de sus clientes pueden valorar los avances en el respeto por el medio ambiente, lo que permite considerar la posible existencia de un nicho de mercado que aprecie la incorporación de sostenibilidad energética al proceso. El presente trabajo se centrará en los consumos energéticos alimentados eléctricamente.

3 Revisión del uso de energía renovable en el sector vitivinícola

Tanto para posicionar el caso particular del estudio en su contexto, como para permitir la posterior inducción de lo observado a casos generales análogos, procede abordar la descripción del estado de la cuestión, tanto en lo que respecta a la realidad del sector como en el estado del arte. La integración de energía renovable contribuye notablemente a la sostenibilidad, por lo que se revisa enmarcada en ese contexto.

3.1 Aproximación a las demandas energéticas del proceso

Las necesidades energéticas de la cadena vitivinícola [1] pueden variar en función de la amplitud del proceso considerado. En este trabajo se opta por una delimitación acorde con el caso de estudio de Bodegas Tempore. Esta elección concuerda de forma natural con los consumos eléctricos específicos de la vitivinicultura, dejando fuera los procesos más periféricos como la construcción de las instalaciones o la distribución y transporte del producto, la fabricación de las botellas o los tratamientos fertilizantes o fitosanitarios. También existen, por ejemplo, empresas del sector que no cultivan y sólo elaboran, pero esa desintegración vertical no refleja el recorrido completo cuyo estudio se desea abordar.

La demanda energética durante la fase de viticultura es mayor en los cultivos de regadío, debido a la extracción e impulsión de agua en los sistemas de riego. Se trata de energía eléctrica que, procedente de la red o de generadores autónomos Diesel, alimenta las bombas de extracción e impulsión. Si el agua procede de conducciones o balsas de superficie, la bomba se limita a impulsarla con la presión necesaria para el sistema de riego. En otros casos, es necesario extraerla de pozos de considerable profundidad mediante bombas sumergidas, lo que requiere un mayor aporte energético. La viticultura de regadío se autorizó en España en 1996 y aunque no es aún mayoritaria en el “viejo mundo”¹ sí lo es en las explotaciones del “nuevo mundo”. En España², del total de 1.088.334 ha de viñedo dedicado a uva de vinificación, 196.693 ha son de regadío, un 18%. En Aragón, del total de 45.585 ha, 10.202 ha son de regadío, un 22%. La producción en secano es de 2.247 kg/ha mientras que en regadío resulta 2,61 veces mayor, de 5.876 kg/ha. Una segunda categoría de demanda energética es la requerida para el funcionamiento de la maquinaria agrícola y para el transporte. El gasóleo es el combustible utilizado. La alternativa renovable más inmediata serían los biocombustibles, quedando fuera del alcance del presente trabajo. Cabe mencionar, sin embargo, la existencia de técnicas [2] y [3] que aportan sostenibilidad al resto de las labores de cultivo.

En la fase de viticultura, considerando su inicio en el momento en que la uva entra en la bodega, la demanda energética se produce en tolvas, despalilladoras, bombas, equipos de

¹ Los términos “old world” y “new world” se usan en el sector para referirse a las regiones mundiales históricamente productoras y a las que se han incorporado contemporáneamente.

² Fuente: anuario de estadística 2009 del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

limpieza a presión, embotelladoras, etiquetadoras, embaladoras, instalaciones de refrigeración, iluminación, oficinas y almacenes. Los mayores consumos se producen en la refrigeración, principalmente durante la fermentación y estabilización. Todos estos procesos son alimentados mediante electricidad, obtenida habitualmente de la red. En buena medida, a semejanza de lo que sucede en la edificación residencial, las necesidades energéticas dependen de la calidad bioclimática de las instalaciones [4] especialmente desde el punto de vista geotérmico y solar [5].

El perfil de la demanda energética a lo largo del tiempo tiene un marcado carácter estacional, función de los ciclos agrícolas que condicionan también la subsiguiente elaboración del vino. La cuantificación de las demandas reseñadas se hará en el caso de estudio, a lo largo del apartado 4. Como dato general, el gasto del sector en España durante el año 2009³ en energía eléctrica fue de 351,61 M€ y en gasóleo de 881,85 M€.

3.2 Situación actual del sector

Varios expertos consultados han informado de que existe una situación de crisis económica y alta competencia entre los productores, así como, en general, escasez de conocimiento e interés por la sostenibilidad. De ello deriva una dificultad inversora, pero a la vez se aprecia la necesidad de obtener segmentación y diferenciación competitiva.

La implantación práctica de acciones orientadas a la sostenibilidad emprendidas por el sector en España ha dado (sin ánimo de ser exhaustivos) los siguientes resultados:

- Utilización de energía geotérmica: [Bodegas Regalía de Ollauri](#) (Rioja)
- Arquitectura bioclimática: [Bodegas Protos](#) (Ribera del Duero)
- Producción fotovoltaica y venta a red: [Bodegas Emina](#) (Ribera del Duero)
- Producción de calor con biomasa: Bodegas Emina
- Reutilización de aguas residuales y pluviales: Bodegas Emina
- Inversión en parque eólico y otras acciones: [Bodegas Torres](#)

Todas estas medidas se centran en las propias bodegas. En cuanto a la parte agrícola del proceso, existen multitud de vinos etiquetados como ecológicos, lo que no tiene especial significación en la sostenibilidad energética.

La reglamentación y el concepto que se maneja de vino ecológico se centran en los productos y procedimientos empleados en el proceso agrícola y, más recientemente, de elaboración. Sin embargo, no se tiene en cuenta la sostenibilidad energética de dichos procesos. Ante la fuerte atención a los aspectos químicos y biológicos, se echa en falta por completo un enfoque energético. Como relativa excepción se puede mencionar nuevamente a Bodegas Emina (del [Grupo Matarromera](#)), uno de cuyos vinos (Emina Verdejo 09, D.O. Rueda) posee el certificado AENOR Medio Ambiente cuantificando las emisiones en 829 g de CO₂ equivalente por botella. Otra referencia [1] cifra el promedio mundial en 2 kg de CO₂ por botella, incluyendo manufactura y transporte final. Si tenemos en cuenta que en Aragón se producen 896.682 hl y en España 37.366.893 hl (sólo parcialmente embotellados), se comprueba la importante magnitud de las emisiones del sector. Sorprendentemente, el vino procedente de viticultura ecológica puede producir mayores emisiones que el de la viticultura tradicional [6]. En general, con otra relativa excepción en Bodegas Torres, los incipientes esfuerzos se dirigen más al cálculo de las emisiones que a su reducción, aunque bien es cierto que lo uno puede ser la antesala de lo otro.

³ Datos provisionales. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

En su informe 2009, la [FEV](#) (Federación Española del Vino), reconoce que “*para el consumidor europeo medio, el ambiental es el tercer componente más importante en las decisiones de compra, después de la calidad/seguridad y del precio del producto*”. En dicho informe se dedica un apartado a “Cambio climático y emisiones de CO₂ en el sector del vino”, pero en él se observa la ausencia de un enfoque energético del proceso. La propia FEV ha creado en su seno un Grupo de Medio Ambiente e Innovación.

De la preocupación del sector por el cambio climático es buena muestra la existencia del proyecto [Cenit Deméter](#), que agrupa a 25 empresas integrantes del Consorcio y 31 centros de investigación. Su principal objetivo es determinar los efectos del cambio climático en la viticultura y buscar formas de afrontarlo. Pese a la amplitud del proyecto, nuevamente se omiten los aspectos energéticos del proceso. Otra muestra es [EcoSostenibleWine 2010](#) (2ª Conferencia Internacional de Vitivinicultura Ecológica, Sostenible y Cambio Climático).

En el ámbito privado europeo, el proyecto [Amethyst](#) desarrolló una herramienta de autoevaluación sobre el uso de agua y energía para pequeños y medianos vinicultores. Por otra parte, varios productores californianos han optado por combinar la compra de derechos de emisión con una campaña de marketing [Turning Wine Green](#) e incluso a través de facebook: [Green My Vino](#). Otras solución imaginativa (*California, Napa Valley wine producer* [Far Niente](#)) combina paneles fotovoltaicos flotando sobre pontones en las propias balsas de riego, ahorrando así espacio. Aparecen también entre los productores norteamericanos estudios de ciclo de vida [7], probablemente previos a la adopción de prácticas cada vez más sostenibles.

3.3 Revisión de artículos

La revisión del estado del arte a través de los buscadores de artículos científicos utilizados (www.ieeexplore.ieee.org y www.sciencedirect.com) y otros recursos no sólo ha dado como resultado la obtención de buena parte de las [referencias](#) utilizadas, sino también un panorama que puede resumirse en los siguientes términos:

- La mayor parte de la investigación en el sector se dirige a los procesos de naturaleza química o biológica, tanto en la viticultura como en la vinicultura, incluyendo la relativa a los efectos y la adaptación al cambio climático.
- Se están realizando análisis de ciclo de vida y de cuantificación de emisiones que pueden orientar las futuras acciones tendentes a la sostenibilidad de los procesos.
- Existen multitud de trabajos sobre el uso de energía renovable para riego y bombeo, tanto alimentados con energía fotovoltaica [8], eólica [9], como de forma integrada [10], aunque no especialmente orientados al sector vitícola.
- Los estudios de sostenibilidad relativos al sector generalmente no prestan apenas atención al consumo y posible producción eléctrica.

Mención especial, tanto por su amplitud como por haber sido realizados en el mismo contexto sectorial y regional, merecen los trabajos del Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos ([CIRCE](#)): Proyecto de Minimización y Valorización de Residuos y Emisiones en las PYMES del Sector Vitivinícola Aragonés, Análisis y mejoras de los costes energéticos y medioambientales de las Pymes del sector Vitivinícola [11] y Guía de Ecoeficiencia en las Pymes del Sector Vitivinícola.

4 Caso de estudio: Tempore

Bodegas Tempore dispone de diversas fincas donde se cultiva vid y olivar en los términos municipales de Lécera, Almonacid de la Cuba y Belchite, además de la bodega propiamente dicha y las oficinas en el pueblo de Lécera [Fig.1]. En todas las fincas utiliza el riego por goteo, con agua procedente de manantiales o extraída de acuíferos subterráneos. La energía eléctrica para impulsión del agua se obtiene en una finca (San Jorge) de la red, mientras que en las otras (Masatrigos y Merla) existen generadores Diesel. La bodega y oficinas se alimentan de la red.

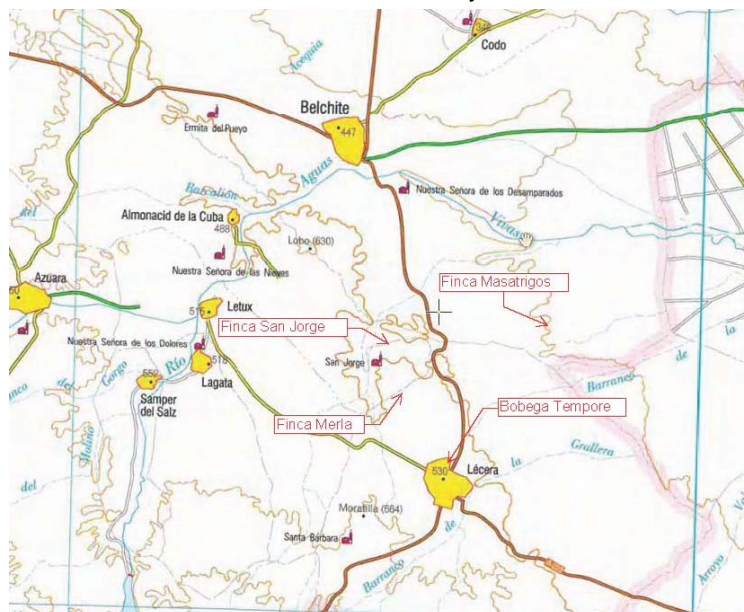


Fig. 1. Emplazamiento de las instalaciones

4.1 Riego conectado a red: San Jorge

4.1.1 Descripción

La finca San Jorge tiene una extensión de aproximadamente 200 ha [anexo 1]. Existen dos balsas: balsa Filada [anexo 2] y balsa San Jorge [anexo 3] con 1.500 m³ y 7.000 m³ de capacidad respectivamente, unidas por una tubería que permitiría el trasvase entre ellas si fuera necesario. Ambas reciben aportación de agua de manantiales. En la misma finca, junto a la balsa Filada, existe un taller auxiliar para las labores agrícolas, llamado Torre de San Jorge. El conjunto de la finca se alimenta de energía eléctrica de la red, contratada en AT [anexo 10].

La balsa de San Jorge se nutre de manantiales a razón de 600 m³/día. Desde ella se riegan 60 ha de viñedo y 75 ha de olivar. Para la impulsión del agua se utiliza una bomba [anexo 14] de 30 kW y 180 m³/h de caudal [anexo 43]. Dado que dicho aporte es insuficiente para las necesidades de riego, se extrae agua de un acuífero subterráneo en las proximidades de la balsa San Jorge. La extracción se hace desde 180 m de profundidad, mediante una bomba sumergida de 140 kW y 160 m³/h de caudal. La salida de agua va directamente al sistema de riego sin pasar por la balsa, ya que la potencia es suficiente para que la presión sea superior a la necesaria.

La balsa Filada [anexo 11] se nutre de manantiales a razón de 350 m³/día. Desde ella se riegan 40 ha de viñedo, mediante una bomba de 10 kW y 70 m³/h de caudal.

Existen otros utilizadores menores como son una bomba para riego del huerto de 2,2 kW, y los pequeños consumos de taller (iluminación, bomba de trasiego de combustible de 0,25 kW, etc.).

4.1.2 Perfil de la demanda

Los aportes hídricos proceden de los manantiales que desaguan en ambas balsas y de la extracción desde el acuífero subterráneo. El primero no requiere gasto energético y no es controlable, mientras que el segundo requiere consumo energético y es controlable. El criterio

de riego por hectárea y año es de 3.000 m³ para el olivar y de 1.000 m³ para el viñedo, lo que con las superficies de cultivo indicadas corresponde a 225.000 m³ y 100.000 m³ respectivamente, haciendo un total para la finca de 325.000 m³/año. La temporada de riego se inicia en abril y concluye en septiembre, lo que produce una utilización intensa de las bombas durante esos seis meses y un reposo prácticamente absoluto durante los otros seis. Ello redundará en una marcada estacionalidad de la demanda energética.

Consultada la propiedad nos indica que la gestión del bombeo se hace de la siguiente forma:

- La primera opción es regar con el agua disponible en la balsa, utilizando la bomba de 30 kW. La bomba del pozo permanece inactiva.
- Cuando el nivel de agua de la balsa se reduce al mínimo, se riega con agua del pozo utilizando la bomba sumergida de 140 kW. La bomba de la balsa permanece inactiva.
- Nunca se extrae agua del pozo para acumularla en la balsa.

La razón de esas preferencias es que el riego desde la balsa tiene un coste energético de 30 kWh por cada 180 m³, lo que supone 167 Wh/m³, mientras que regando desde el pozo es de 140 kWh por cada 160 m³, lo que supone 875 Wh/m³, cinco veces más.

Los datos de la facturación eléctrica disponibles [anexo 15] [Fig. 2] corresponden a la temporada de riego 2009, durante la cual la finca de San Jorge estaba en período de transformación. Por ello al analizarlos hay que tener en cuenta las diferencias entre la operación en 2009 y la definitiva una vez concluida la reforma. En 2009:

- El sistema de la Filada no se utilizó.
- El sistema de San Jorge regó sólo 25 ha de olivar y 50 ha de viñedo.
- Las bombas del sistema San Jorge sufrieron problemas que impidieron optimizar su gestión.

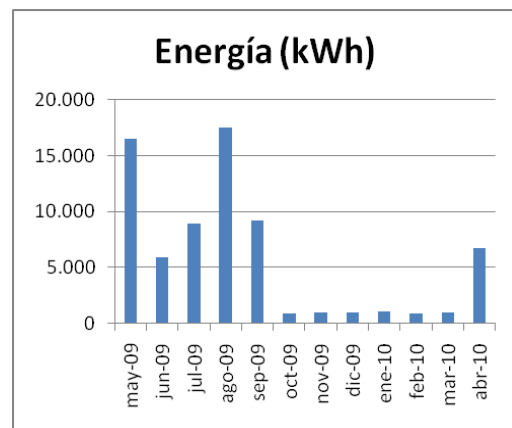


Fig. 2 Gráfica de consumos finca San Jorge temporada 2009-2010

Todo ello hizo que el riego anual fuese de sólo 125.000 m³. Con el régimen de demanda descrito, el consumo eléctrico durante el período de un año (desde mayo-09 a abril-10) fue de 70.665 kWh. La potencia contratada es la de la bomba mayor, ya que nunca funcionan ambas simultáneamente.

Los consumos desde octubre a marzo son muy estables, con un promedio mensual de 977,5 kWh. Ello permite estimar que del total de energía consumida a lo largo del año, 11.730 kWh corresponden a los consumos no estacionales, mientras que 58.935 kWh corresponden al riego de temporada.

Después de calcular la demanda hídrica, el consumo eléctrico asociado y el régimen de uso de las bombas en 2009 [anexo 22], puede construirse la tabla para los años posteriores [anexo 23]. Así, podemos estimar que de los 285.000 m³ anuales necesarios, el aporte de manantiales permite suministrar con la bomba de la balsa el 38% y desde el pozo el 62% restante. El coste energético medio será de 607 Wh/m³ y el consumo anual total del sistema de bombeo San Jorge será de 172.875 kWh. No obstante, debido a la variabilidad de los manantiales, deben preverse temporadas con mayor necesidad de extracción desde el acuífero subterráneo. Ello redundaría en un mayor coste energético, debido a una mayor proporción de uso de la bomba sumergida.

En cuanto al riego desde la balsa Filada [anexo 27], su coste energético será de 167 Wh/m³ y el consumo anual de 6.667 kWh.

Sumando los consumos para un año tipo de los dos riegos conectados a red, se obtiene un consumo para riego de 179.542 kWh, repartidos a lo largo de los seis meses de la temporada de riego (325.000 m³), a lo que hay que añadir el consumo del taller de 11.730 kWh repartidos por igual los doce meses del año. Así, el consumo total anual es de 191.272 kWh.

4.1.3 Tarifa y factura eléctrica

La tarifa eléctrica contratada consta de tres períodos [Tabla 1].

	HORAS 0-24																								
3.1.A	01 a 02	02 a 03	03 a 04	04 a 05	05 a 06	06 a 07	07 a 08	08 a 09	09 a 10	10 a 11	11 a 12	12 a 13	13 a 14	14 a 15	15 a 16	16 a 17	17 a 18	18 a 19	19 a 20	20 a 21	21 a 22	22 a 23	23 a 00	00 a 01	
abril																									
mayo																									
junio																									
julio																									
agosto																									
septiembre																									
octubre																									
noviembre																									
diciembre																									
enero																									
febrero																									
marzo																									
sábado																									
domingo																									
festivos																									

Tabla 1 Franjas horarias contrato finca San Jorge: valle (verde), llano (rojo) y punta (azul)

Basta observar la gráfica del consumo 2009 por períodos tarifarios [Fig. 3] para comprobar que la demanda está ya bastante concentrada en el período P3 (valle). Además de la lógica gestión realizada por el usuario, juega a favor el hecho de que, aunque no es estrictamente necesario, el riego nocturno es más recomendable.

Sin embargo, en un año tipo (posterior a la actual reforma) serán necesarias más horas de bombeo. En concreto, 9,48 h diarias desde San Jorge y 1,94 desde la Filada. En todo caso, las operaciones de bombeo pueden hacerse prácticamente en su totalidad dentro del período tarifario valle y en su totalidad si el cómputo y la gestión se hacen en ciclo semanal, ya que las 66,36 h/semana necesarias son menos que las 76 h/semana de tarifa valle.

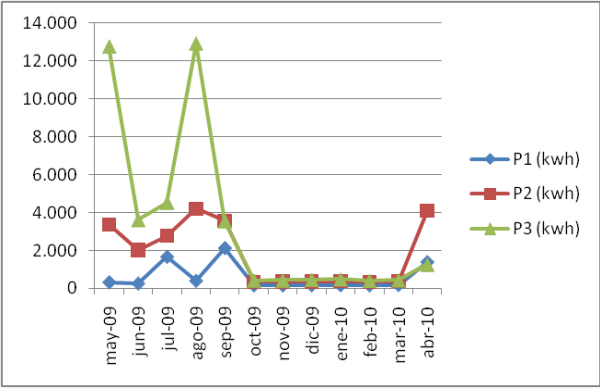


Fig. 3 Gráfica de consumo por franjas tarifarias

Al consumo eléctrico (desde mayo-09 a abril-10) de 70.665 kWh correspondió una facturación eléctrica de 12.235,79 €, es decir 0,173152 €/kWh. Sin embargo, las tarifas aplicadas a la energía fueron de entre 0,073492 €/kWh en el período 3 hasta 0,125592 €/kWh en el período 1. El encarecimiento arriba mencionado procede de las facturaciones por potencia y también por energía reactiva, ambas proporcionalmente muy altas.

4.1.4 Mejoras aplicables

Existen posibilidades de cambios en la configuración del sistema. En este apartado contemplamos las relativas a la gestión de los bombeos y de la instalación, tratando la incorporación de energía renovable posteriormente.

En la revisión de las facturas y consumos se ha detectado una muy alta energía reactiva, presente en gran medida incluso durante los meses en que no se riega. Se impone la inspección de la instalación para detectar su origen y corregirla adecuadamente, lo que significará la desaparición de la correspondiente penalización en las facturas.

En la tabla tipo para La Filada se observa un excedente de $128 \text{ m}^3/\text{día}$, que podría trasvasarse a la balsa San Jorge con un consumo energético insignificante, ya que están a escaso desnivel. Así, el uso del pozo de San Jorge disminuiría [anexo 25], obteniendo un ahorro de 16.320 kWh anuales, aproximadamente el 9% del coste total de bombeo.

Hay que señalar que, consultada por la posibilidad de incorporar una segunda balsa a mayor altura, la propiedad lo descarta por su alto coste de construcción, apuntando además que la elevada evapotranspiración que se registra en el clima de la zona sería un factor adverso. Si no se incorpora generación propia, ni se acumula energía (bien sea en forma eléctrica o potencial en el agua), la posible optimización pasa por la reducción puramente económica del coste de la energía, efectuando cambios en el contrato de suministro eléctrico o modificando el perfil horario de la demanda, adaptándolo todo lo posible a la tarifa horaria más barata. La modificación del contrato es cuestión de negociar con los comercializadores de electricidad, en lo que no nos extendemos en el presente trabajo, aunque se ha efectuado un análisis de la facturación y la demanda que puede ser útil para ese fin.

Lo que no resultaría eficiente y de hecho no se hace actualmente es bombear agua del pozo hasta la balsa, ya que la suma de ese primer gasto energético más el del segundo bombeo desde la balsa al sistema de riego supondría un coste por m^3 aún superior con las bombas existentes. Sin embargo, la presencia de dos diferentes niveles de agua como son el pozo y la balsa permitiría una cierta acumulación y la correspondiente flexibilización del perfil de consumo. Llegado el momento de la reposición de la bomba del pozo, se podría sustituir por otra de menor potencia, la necesaria solamente para subir el agua hasta la balsa. Según los datos del fabricante Grundfos, la potencia necesaria para el mismo caudal de $160 \text{ m}^3/\text{h}$ sería de 110 kW, frente a los 140 kW del modelo anterior. El consumo energético por m^3 de riego sería prácticamente el mismo, pero las dos bombas podrían trabajar de forma más flexible, juntas o por separado [anexo 24]. Combinando el aporte de los excedentes de la balsa Filada con el cambio de bomba, la nueva podría reducirse aún más, hasta los $100 \text{ m}^3/\text{h}$ y 75 kW, obteniéndose dos ahorros económicos: el inferior precio de la bomba y la reducción de la facturación por potencia, de los actuales 140 kW a 105 kW [anexo 26].

Las diferentes configuraciones estudiadas para los riegos conectados a red dan lugar a un abanico de costes de energía desde 0,0851 €/kWh hasta 0,2009 €/kWh, que se trasladan a unos costes de riego desde 0,0225 €/m³ hasta 0,0947 €/m³ [anexo 28].

4.2 Riego aislado: Masatrigos y Merla

4.2.1 Descripción

En la finca Masatrigos [anexo 4] existen dos instalaciones de riego (Masatrigos I y II), ninguna de las cuales dispone de balsa, estando ambas alimentadas por agua procedente de acuíferos subterráneos extraída desde 100 m de profundidad. Cada una de las dos instalaciones (separadas entre sí 1 km) dispone de su propia bomba sumergida y su generador Diesel,

debido a la lejanía de la red de distribución. Existen pequeñas bombas de 0,25 kW para la incorporación de fertilizante.

Masatrigos I [anexo 5] riega 30 ha de viñedo y 30 ha de olivar. Su generador es de 32 kW [anexos 12 y 13] y la bomba sumergida, de 15 kW y 25 m³/h de caudal [anexo 42], que alimenta directamente al sistema de riego.

Masatrigos II riega 22 ha de olivar. Su generador es de 15 kW y la bomba sumergida de 9,2 kW y 12 m³/h de caudal [anexo 41], que alimenta directamente al sistema de riego.

La finca Merla [anexo 6] riega 15 ha de viñedo, con un aporte de agua menor (300 m³ anuales por hectárea) que en los casos anteriores para obtener vinos de más alta calidad a costa de una menor producción. Dispone de una balsa [anexo 7] que se llena mediante una bomba sumergida a 70 m de profundidad, de 5,5 kW y 12 m³/h de caudal [anexo 40]. El riego se impulsa mediante una segunda bomba de 4 kW y 18,8 m³/h de caudal. El generador Diesel es de 18 kW.

4.2.2 Perfil de la demanda

En los riegos Masatrigos I [anexo 17] y Masatrigos II [anexo 19], la relación entre las necesidades hídricas de las fincas y el dimensionado actual de las bombas hace que éstas tengan que trabajar de forma ininterrumpida, 24 horas al día durante los 180 días de la temporada de riego. En Merla, por el contrario, la utilización diaria es de tan solo dos horas. Así, en Masatrigos I y II la demanda es constante durante medio año e igual a cero durante el otro medio. En Merla [anexo 20], además del sobredimensionamiento mencionado, la existencia de dos bombas (una de extracción y otra de riego) y una balsa permiten una gestión muy flexible.

El volumen anual de agua suministrada se cifra en 108.000 m³ en Masatrigos I, 51.840 m³ en Masatrigos II y 4.500 m³ en Merla.

4.2.3 Generación Diesel

En todas las ubicaciones de riego aislado de la red del caso de estudio, la generación eléctrica corre a cuenta de grupos Diesel. Esta solución es la empleada de forma mayoritaria en el sector agrícola allí donde la red no está presente. Con los perfiles de utilización descritos, resulta un consumo específico de los generadores Diesel de 230 g/kWh a 310 g/kWh, y un coste medio de la energía eléctrica de 0,25 €/kWh con los precios (combustible a 0,70 €/l, etc.) actuales. Cabe señalar que el rendimiento medio de la generación Diesel no supera en el mejor caso el 37% (Masatrigos II).

Comparando el coste con la tarifa eléctrica por energía, la generación Diesel resulta entre 2 y 3 veces más cara.

4.2.4 Mejoras aplicables

En este apartado contemplamos las posibilidades relativas a la gestión de los bombeos y de la generación, tratando la incorporación de energía renovable posteriormente. No se estudia, entre otras razones por estimarse inicialmente demasiado costosa la inversión necesaria, la posibilidad de conexión a red. En Masatrigos I y II, el dimensionado, la demanda hídrica y la ausencia de balsa no permiten cambios en la gestión. Por el contrario, en Merla, la coexistencia de dos bombas sobredimensionadas y la balsa sí los permiten. En el estado actual, con un generador que proporciona suficiente potencia para ello, es preferible activar ambas bombas simultáneamente, lo que hace que aquél trabaje a mayor régimen de carga y por tanto a mayor rendimiento. En cuanto a Masatrigos I, el generador está claramente sobredimensionado para suministrar la corriente de arranque de la bomba. Como referencia de las características de los

generadores Diesel, utilizamos los datos de algunos modelos [Tabla 2] que pueden considerarse representativos de los productos disponibles comercialmente. El generador actual, en régimen permanente, trabaja a menos del 50% de carga. Sustituyéndolo por uno

► **Rating table: 2011. The Genset Engine. 50 Hz**

Engine type		F2L 2011	F3L 2011	F4L 2011	BF4L 2011
Speed	min ⁻¹ rpm	1500	1500	1500	1500
Frequency	Hz	50	50	50	50
Engine/genset ratings⁴⁾					
Continuous power, ICN (COP) ²⁾	kW hp	11,4 15,5	18,1 24,6	26,2 35,6	34,6 47,1
Prime power, ICN (PRP) ³⁾	kW hp	12,0 16,3	19,0 25,8	27,6 37,5	36,4 49,5
Limited-time running power, IFN (LTP) ⁴⁾	kW hp	12,6 17,1	20,0 27,2	29,0 39,4	38,2 52,0
Typical generator power output					
Typical generator power output (COP) ⁵⁾	kVA	11,8	19,0	28,5	38,0
Typical generator power output (PRP) ⁵⁾	kVA	12,5	20,0	30,0	40,0
Typical generator power output (LTP) ⁵⁾	kVA	13,1	20,9	31,5	42,0
Spec. fuel consumption PRP (LTP)⁶⁾					
100 % load	g/kWh lb/hp-hr	235 0.381	225 0.365	215 0.348	220 0.356
75 % load	g/kWh lb/hp-hr	245 0.397	230 0.373	220 0.356	225 0.365
50 % load	g/kWh lb/hp-hr	270 0.437	260 0.421	235 0.381	235 0.381
25 % load	g/kWh lb/hp-hr	400 0.648	450 0.729	350 0.567	320 0.518

Tabla 2 Datos de consumos de generadores (Fuente: Deutz)

menor, que trabajaría a un régimen de carga mayor del 75%, puede pasarse de un consumo específico de 310 g/kWh a 230 g/kWh y el rendimiento pasaría del 27% al 37%. Así, si el generador se sustituyese por otro de menor potencia, de tal forma que trabajase en un punto de mayor rendimiento, se obtendría un ahorro de combustible que se cifra en 6.135 l de gasóleo anuales [anexo 18]. Si tenemos en cuenta que el generador actual ha recorrido el 75% de su vida útil, cambiarlo en su momento por uno nuevo de menor potencia supondría además una disminución del coste de reposición.

La viabilidad de reducir el tamaño del generador pasa por reducir la corriente de arranque (con estrella-triángulo es del orden del doble de la intensidad nominal) mediante un variador de frecuencia o/y suministrar si es necesario la corriente adicional procedente de un sistema de almacenamiento adecuado. Esta función no pueden cumplirla las baterías, ya que se trata de decenas de kVA durante tan sólo algunos segundos. Los elementos indicados para una respuesta de esta clase serían los volantes de inercia o los ultracondensadores [anexo 47]. El orden de magnitud de la energía es de 0,1 kWh, resultando cifras razonables para los ultracondensadores. Para almacenar esa energía puede bastar con unas decenas del modelo representado [Fig. 4], ya que cada uno de ellos es capaz de almacenar 3,04 Wh. No es objeto del presente trabajo el dimensionado del grupo de condensadores y del regulador que los uniría al sistema. Cuando se aproxime el fin de la vida útil del generador, será recomendable valorar el coste económico de la modificación con los precios de mercado vigentes de reposición, reforma y del gasóleo.

Las diferentes configuraciones estudiadas para los riegos aislados dan lugar a un abanico de costes de energía desde 0,21 €/kWh hasta 0,27 €/kWh, que se trasladan a unos costes de riego desde 0,12 €/m³ hasta 0,17 €/m³ [anexo 21].


<div>  <div> Ultracapacitors Maxwell Technologies BCAP3000 Ultracapacitors </div> </div>			
<ul style="list-style-type: none"> 2.7 Volt operating voltage* Over 1 million duty cycles 3000 Farads Ultra-low internal resistance 	<ul style="list-style-type: none"> Capacitance (Farads) ESR, DC (mohm) E_{max} (Wh/kg) P_{max} (W/kg) 	<ul style="list-style-type: none"> 3000 0.29 5.72 13,800 	
Maximum Continuous Current [A]	150A	Assuming 10 degree temperature rise above ambient temperature	
Max current [A]	750A	(in 5 s discharge to half nominal voltage)	
Lifetime L25V, RT [hours]	150,000	End of life characterized as -20% C from nominal C, or increase of 100% in ESR	
Cycles 125 to 62.5 Vdc, RT [cycles]	1,000,000	End of life characterized as -20% C from nominal C, or increase of 100% in ESR	

Fig. 4 Características energéticas de ultracondensador. Fuente: Maxwell

4.3 Bodega y oficinas

4.3.1 Descripción

Emplazado [anexo 8] en la periferia del pueblo de Lécera, el edificio [anexo 9] consta de dos naves de planta rectangular adosadas longitudinalmente, además de la oficina. La nave de proceso, de 792 m² y 8 m de altura se halla diferenciada en tres zonas, elaboración, embotellado y almacén de producto terminado. La nave de crianza, de 528 m² y también de 8 m de altura incorpora un ligero aislamiento térmico, dado que su temperatura debe ser reducida y controlada. Las oficinas tienen una superficie de 258 m² y su orientación es ESE (60°).

La potencia instalada en alumbrado es de 11,75 kW. El tipo de luminaria utilizado principalmente es de vapor de mercurio (VM) y de vapor de sodio a alta presión (VSAP). La potencia instalada en fuerza motriz es de 65,19 kW, siendo el mayor receptor un equipo de refrigeración de 19,80 kW.

4.3.2 Perfil de la demanda

Los mayores consumos [Fig. 5] se presentan entre junio y septiembre, debido a la demanda de refrigeración. Existe cierta estacionalidad, pero mucho menor que en las instalaciones de riego. Así, el consumo mensual oscila entre poco más de 3.000 kWh hasta más de 9.000 kWh.

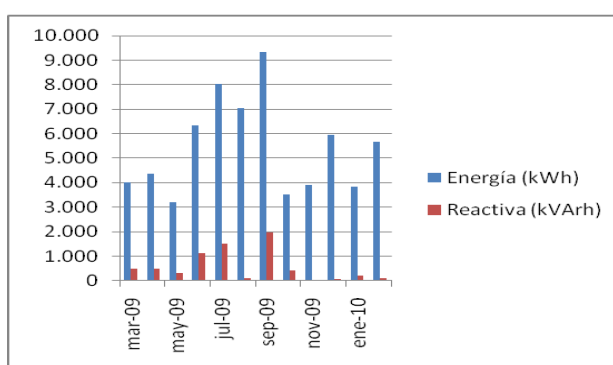


Fig. 5 Gráfica de consumos bodega

4.3.3 Tarifa y factura eléctrica

La tarifa eléctrica contratada, en BT, consta de dos períodos (diurno-P1 y nocturno P-2), estando concentrado el mayor consumo en el diurno [Fig. 6]. El consumo diurno sufre mayores oscilaciones, mientras que el nocturno resulta más estable a lo largo del año. Al consumo eléctrico (desde mayo-09 a abril-10) [anexo 16] de 65.184 kWh correspondió una facturación eléctrica de 7.499,54 €, es decir 0,115052 €/kWh. La potencia facturada es de 40 kW.

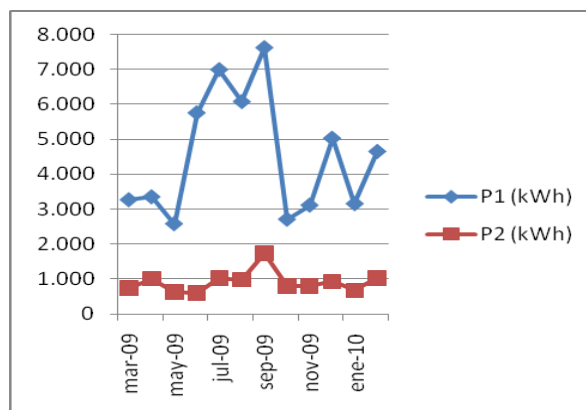


Fig. 6 Gráfica de consumo por franjas tarifarias

4.3.4 Mejoras aplicables

Dado que los mayores consumos son debidos a la refrigeración y que el edificio no presenta condiciones bioclimáticas especialmente buenas, reducir la demanda de refrigeración es la primera opción. Las intervenciones posibles son: mejora del aislamiento de la envolvente del edificio o de las naves refrigeradas y posible instalación de una cubierta vegetal. También la utilización de bombas de calor geotérmicas.

5 Integración de fuentes de energía renovables

La incorporación de fuentes de energía renovables al proceso vitivinícola puede aportar diversas ventajas sobre las soluciones convencionales, pero se topa con la necesidad de justificar económicamente la inversión. El escenario energético, económico y tecnológico actual está marcado por el aumento (con fluctuaciones pero inexorable a medio plazo) del coste de los combustibles fósiles, la disminución paulatina de los costes de la generación renovable, la incorporación de nuevas tecnologías de almacenamiento y la necesidad de reducción de los impactos medioambientales. Por ello, parece oportuno afrontar la cuestión buscando el umbral de rentabilidad en función de las variables económicas que entran en juego.

5.1 Recursos renovables

Las instalaciones objeto de estudio se encuentran en ubicaciones geográficas próximas entre sí. No obstante, los recursos disponibles se calculan de forma individual para cada una de ellas, ya que factores como la rugosidad del terreno y los obstáculos (al viento o a la radiación solar) no son idénticos.

- Bodega: 41°12'36"N - 00°42'40"W - 527 m asl
- San Jorge balsa Filada: 41°14'34"N - 00°44'31"W - 475 m asl.
- San Jorge balsa San Jorge: 41°14'59"N - 00°44'17"W - 470 m asl.
- Masatrigos: 41°14'55"N - 00°40'21"W - 400 m asl
- Merla: 41°13'42"N - 0°43'56"W - 515 m asl.

5.1.1 Solar

Para la obtención de los datos del recurso solar, optamos por [PVGIS](#) (*Photovoltaic Geographical Information System*) [anexo 29], con la nueva base de datos [CMSAF](#) (*Satellite Application Facility on Climate Monitoring*). Obtenidos los datos de irradiación y ángulo óptimo, etc., para los entornos de las diferentes instalaciones objeto del estudio [anexos 30, 31, 32 y 33] se observa que las diferencias son menores del 0,01%, por ejemplo con irradiaciones anuales sobre plano horizontal de 1.669,82 kWh/m² a 1.682,25 Wh/m², aunque en cada simulación se emplearán los datos de su propia ubicación.

El ángulo óptimo en cómputo anual es de 37°. Utilizando seguimiento a dos ejes se lograría respecto a la inclinación fija un incremento de irradiación. Sin embargo, al disponer de amplio espacio y valorar la simplicidad de la instalación (por fiabilidad y bajo mantenimiento) optamos por la inclinación fija, máxime siendo que el coste por kWh suministrado es similar y que en varias de las instalaciones el consumo lo podemos concentrar en las horas centrales del día (las de mayor irradiación), lo que hace menos necesario el seguimiento. La inclinación fija óptima se determina en los apartados correspondientes, según sean instalaciones conectadas a la red o aisladas, teniendo en cuenta en éste último caso el perfil mensual del consumo (riegos de temporada).

Los horizontes de las ubicaciones seleccionadas muestran un perfil de obstáculos muy favorable. En el caso de la balsa de San Jorge [Fig. 7], los promontorios están al norte. En Masatrigos [Fig. 8] apenas hay relieve y la caseta del generador puede evitarse colocando la captación al sur de ésta.

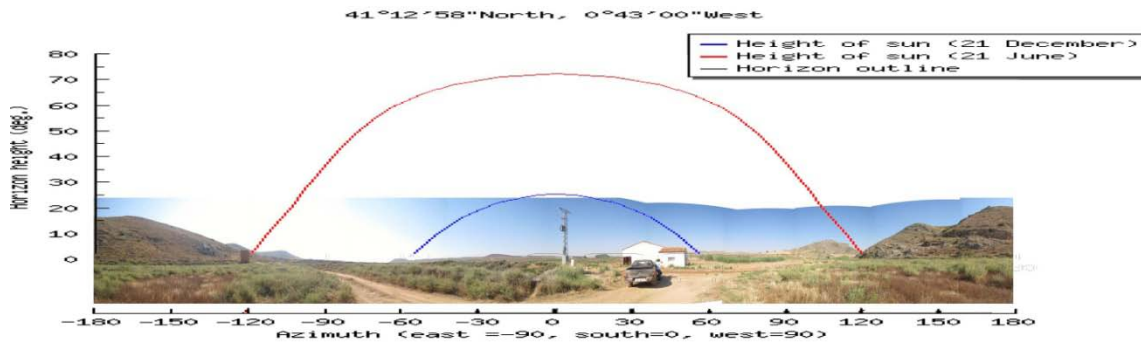


Fig. 7 Horizonte balsa de San Jorge

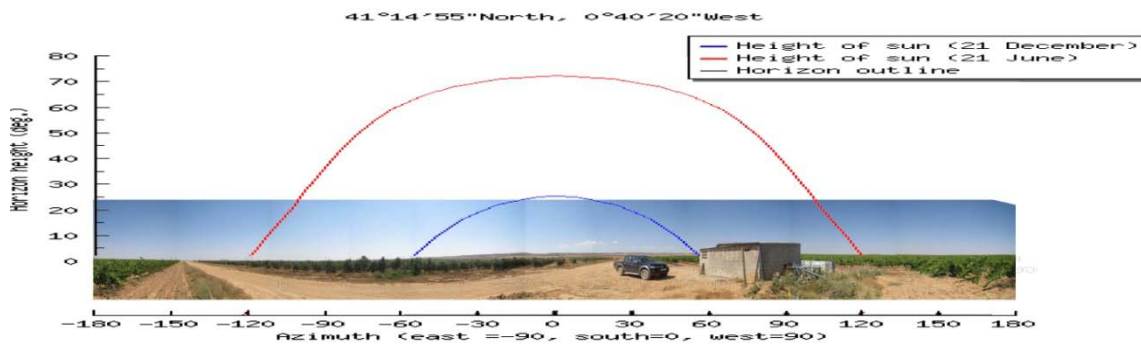


Fig. 8 Horizonte Masatrigos

En cuanto a la elección del tipo de panel, consideramos Si monocristalino, CIS y CdTe. El mejor comportamiento ante la temperatura del CdTe redundaría en una mayor estimación de producción por cada kW_p instalado. Este efecto es mayor que en instalaciones de uso anual, ya que la temporada de riego coincide con la parte del año de mayor calor.

5.1.2 Eólico

La obtención de datos eólicos es difícil por la variabilidad del recurso entre unas y otras ubicaciones (incluso si están separadas por cortas distancias) añadida a la ausencia de mediciones completas aplicables a este lugar. [NASA Surface meteorology and Solar Energy](#) (SSE) ofrece datos [anexos 36 y 37] para el cuadrante de 1° de latitud por 1° de longitud en que encuentran todas las instalaciones. Una cuadrícula tan grande aporta muy poca concreción, por lo que el dato es poco fiable, sirviendo únicamente de primera aproximación.

Por otra parte, el [Atlas Eólico de España](#) [anexo 38] ofrece para una altura de 30 m unas velocidades medias anuales de entre 4,0 m/s y 5,5 m/s para las diversas ubicaciones de las instalaciones estudiadas [Fig. 9], siendo las menores en la balsa Filada y en la Bodega (entre 4,0 m/s y 4,5 m/s), intermedias en la balsa de San Jorge y Masatrigos I y II (entre 4,5 m/s y 5,0 m/s) y máximas en Merla y en un montículo contiguo a la balsa de San Jorge pero externo a la propiedad (entre 5,0 m/s y 5,5 m/s).

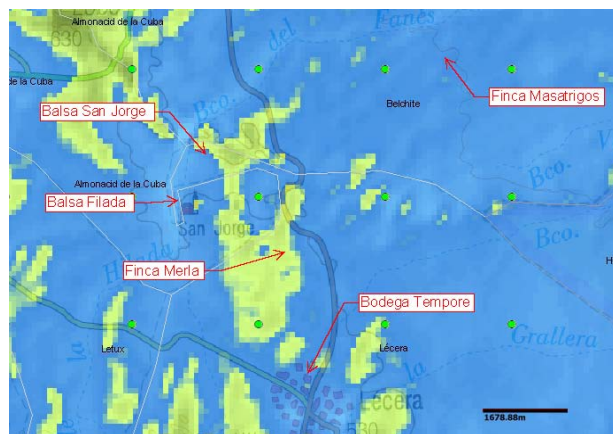
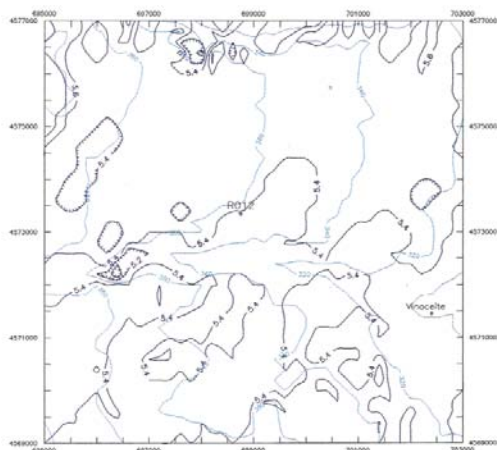


Fig. 9 Mapa velocidades medias viento a 30 m
Fuente: Atlas Eólico de España IDAE

Los datos más cercanos y fiables proceden de la elaboración del Atlas Eólico de Aragón, ya que se utilizó durante sus fases I y II una estación situada en Belchite y en su fase III otra en Vinaceite, ambas próximas a las diversas ubicaciones del presente estudio y esta última a una distancia de entre 4 km y 10 km de todas ellas. Incluso las ubicaciones de Masatrigos I y II se hallan en el mapa de isoventas [Fig. 10] del entorno de la estación de Vinaceite.



5.2 Optimización económica

Para cada instalación, se busca el mix de generación económicamente óptimo. El programa utilizado es [HOGA](#) (Hybrid Optimization by Genetic Algorithms) versión 1.95. Existen programas como [HOMER](#), desarrollado por [NREL](#) (National Renewable Energy Laboratory) de EE.UU., que realizan la optimización determinista, probando todas las posibles combinaciones. La desventaja es que si queremos tener un número representativo de posibles soluciones, el tiempo de cálculo se incrementa enormemente. HOGA permite tanto utilizar los algoritmos genéticos como escoger la comprobación de todas las simulaciones. Además, las estrategias de control del sistema de HOMER son demasiado simples y no es posible una optimización a fondo como en HOGA.

Los parámetros económicos que consideramos son:

- **Inflación anual del 2%:** los datos del [Instituto Nacional de Estadística](#) (INE) [anexo 59] cifran el IPC interanual a septiembre de 2010 en el 2,1%. Cifras de ese entorno son esperables en ausencia de incidencias económicas graves.
- **Interés de mercado del 6%:** rentabilidad esperada.
- **Período de estudio de 25 años** (mismo período de vida esperado del elemento más longevo de la instalación, los paneles fotovoltaicos).
- **Coste inicial del gasóleo de 0,70 €/l, con una inflación anual del 6%.** El precio del gasóleo B (agrícola) en las estaciones de servicio de Lécera y Belchite (las más próximas a las instalaciones estudiadas) es el 18/10/2010 de 0,796 €/l. La cifra histórica del período estudiado es de aproximadamente 0,7 €/l. En cuanto a su posible variación, política fiscal aparte, oscila de modo semejante al del petróleo Brent. El INE cifra el IPC interanual a septiembre de 2010 de los carburantes y combustibles en el 13,9%. La cifra considerada en las simulaciones básicas del 6% anual es una estimación de aumento moderado pero firme a largo plazo, tratándose de un escenario conservador. No cabe descartar mayores aumentos puntuales por causas diversas.
- **Energía comprada a la red:** en baja tensión se valora a 0,12 €/kWh, cifra cercana a la calculada en la facturación pasada en el contrato de la bodega (0,115052 €/kWh). La compra en alta tensión (San Jorge y Filada) se valora a 0,09 €/kWh, cercana a la obtenible actualmente consumiendo en tarifa valle e inferior a la abultada por razones que ya se indicaron para los riegos en red estudiados (0,173152 €/kWh). En ambos casos se supone un incremento anual del 4%. Se trata de una estimación de aumento algo menor que para los combustibles. Cabe recordar que se esperan incrementos debidos al llamado “déficit tarifario”.
- **Módulos fotovoltaicos:** se les considera una vida de 25 años y que su precio se reducirá un 5% anual, con un límite en la depreciación del 25% que por lo tanto se alcanzará en 5 años. Este escenario es el de una razonable evolución comercial a mayores producciones y menores costes. No cabe descartar avances tecnológicos que provoquen una brusca caída de los costes.
- **Aerogeneradores:** se les considera una vida de 20 años y que su precio se reducirá un 2% anual, con un límite en la depreciación del 20% que por lo tanto se alcanzará en 10 años. Aunque la tecnología eólica está más madura que la fotovoltaica, existe un recorrido a la baja en el segmento de los generadores de pequeño tamaño, aún poco difundidos.
- **Inversores:** les atribuimos una vida de 10 años, sin variación en el precio de reposición, dada la relativa madurez de la tecnología empleada.
- **Baterías:** se considera que su precio se reducirá un 4% anual, con un límite en la depreciación del 20% que por lo tanto se alcanzará en 5 años. Su vida se calcula en función de los ciclos y profundidades de carga y descarga. Este escenario es el de una

previsible evolución tecnológica. Tampoco cabe descartar cambios tecnológicos profundos que provoquen una brusca caída de los costes.

- **Generadores Diesel:** se les atribuye una vida útil de 50.000 horas y un coste de reposición invariable, dada su madurez tecnológica.

Todo lo anterior dibuja un escenario futuro probable e incluso conservador. Evidentemente puede haber variaciones sobre lo previsto, algunas de las cuáles se plantean en los análisis de sensibilidad. Pueden existir desviaciones importantes causadas por avances tecnológicos o crisis energéticas. En ambos casos el efecto sería muy probablemente favorable a la generación renovable.

La optimización buscará el menor coste total del sistema en Valor Actualizado Neto (VAN). También se obtiene el coste actualizado de la energía suministrada en €/kWh, que puede ser muy útil para establecer comparaciones independientes del tamaño del sistema.

Los módulos fotovoltaicos seleccionados para la simulación han sido conjuntos de 1,4 kW_p y de 7 kW_p, en ambos casos formados por paneles de CdTe de la marca First Solar modelo FS-370 [anexo 56].

Los aerogeneradores seleccionados para la simulación son los Endurance S (5 kW), Endurance G (35 kW), Endurance E (55 kW), BWC Excel R (10 kW), Bornay 6000, Bornay 3000, Bornay 1500 y Bornay 600 [anexos 48 a 55].

Se incluyen inversores de 5 kW, 7,5 kW, 10 kW, 12,5 kW, 17,5 kW, 20 kW, 25 kW, 35 kW, 50 kW, 75 kW, 100 kW, 150 kW y 200 kW.

Las baterías consideradas van desde los 70 Ah hasta los 1.230 Ah: 12V1PVS, 12V2PVS, 4PVS280, 5PVS350, 6PVS660 y 8PVS1200, todas de la marca BAE [anexos 45 y 46].

Para la producción y consumo de Hidrógeno se consideran los electrolizadores HySTAT [anexo 57] y las celdas Relion [anexo 58]

Los generadores Diesel considerados son los existentes en cada instalación. Sus consumos se han parametrizado en función del porcentaje de carga [anexo 44].

5.2.1 Instalaciones aisladas

En la optimización consideramos la generación Diesel existente y la posible incorporación de fotovoltaica, eólica y acumulación.

En cuanto a la posible acumulación energética mediante balsas a desnivel, las diferentes instalaciones de riego aisladas (Masatrigos I y II y Merla) se encuentran en terrenos completamente planos, donde esa solución tendría un coste de construcción muy elevado. Cabe señalar también que, consultada por la posibilidad de embalsar agua a largo plazo, la propiedad apuntó que la elevada evapotranspiración que se registra en el clima de la zona sería un factor adverso. En el caso de Merla, la balsa existente y las dos bombas (una de extracción y otra de riego) permiten una gestión más flexible del consumo, pero no puede llegar a considerarse acumulación energética ya que por motivos de simplicidad de la instalación no se contempla la posibilidad de turbinar agua desde la balsa hacia el pozo. La acumulación que se plantea en la optimización es mediante baterías o mediante producción de hidrógeno. Una posibilidad es la utilización de la energía producida durante el período de no riego para producción de hidrógeno, que podría ser empleado en vehículos o transformado nuevamente en energía eléctrica.

La inclinación óptima mensual de los paneles fotovoltaicos varía entre 7° y 66° (datos PVGIS). Se trata de instalaciones aisladas, donde la prioridad de diseño es el suministro a la carga

durante la temporada de riego. Consideramos dos opciones para la elección de la inclinación fija. Una de ellas es la del mes peor. Teniendo en cuenta que la temporada de riego va desde abril a septiembre y que los consumos son iguales en esos meses, el mes peor es aquel de entre estos que presenta una menor irradiación, es decir, septiembre. A dicho mes corresponde una inclinación óptima de 39°. La otra opción es la del plano que maximiza la irradiación para el conjunto de la temporada de riego, que resulta ser de 19°. Comparando ambas [anexo 34], se comprueba que 39° sólo es ventajosa para septiembre, captando ese mes un 5% más de irradiación, mientras que en todos los demás meses resulta mejor 19°, con un balance total de un 4% más favorable. La utilización de seguidores [anexo 35] ha sido desestimada por las razones anteriormente descritas en [5.1.1.](#)

El recurso renovable es muy similar en el entorno de las diferentes instalaciones consideradas (Masatrigos I, Masatrigos II y Merla). Las dos primeras difieren únicamente en la potencia de las cargas. La tercera, al tener dos bombas y un horario de uso limitado, es muy diferente.

MASATRIGOS I

La carga es ininterrumpida y constante las 24 horas del día durante los seis meses de la temporada de riego. Con los parámetros económicos descritos, el mínimo económico [anexo 61] se alcanza combinando la generación Diesel existente con 56 kW_p de fotovoltaica, además de baterías con capacidad de acumulación de 244,8 kWh. En la gráfica [Fig. 12] se muestra el balance energético anual (demanda, exceso de producción renovable, generación fotovoltaica generación Diesel y carga y descarga de las baterías).

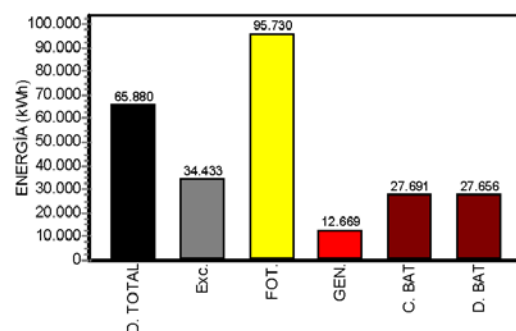


Fig. 12 Gráfica del balance energético del mínimo económico

Las emisiones del sistema actual (sólo generador Diesel) [anexo 60] son de 59.164 kg CO₂/año mientras que con el mínimo económico antedicho se reducen a 14.738 kg CO₂/año. Como desventaja, la inversión inicial es de 222.736 €, contra los 7.542 € actuales. No obstante, el menor consumo de gasóleo reduce sustancialmente los costes anuales, consiguiendo un mejor Coste Total VAN [Fig. 13].

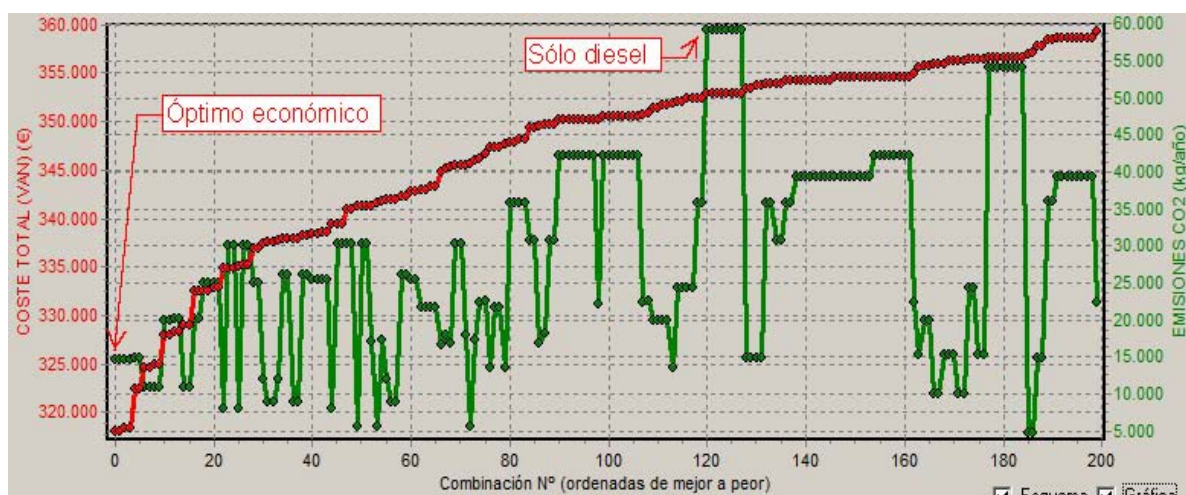


Fig. 13 Gráfica de soluciones de Masatrigos I

Existe un excedente de energía (34.433 kWh) producido durante los meses en que no hay consumo. Esta circunstancia se va a dar en todas las instalaciones aisladas de riego de temporada que incorporen generación renovable. Dentro de la temporada de riego, debido a la contribución fotovoltaica, el mejor día es el 16 de julio [Fig. 14], precisándose muy poco uso de la generación Diesel. El peor es el 30 de septiembre [Fig. 15].

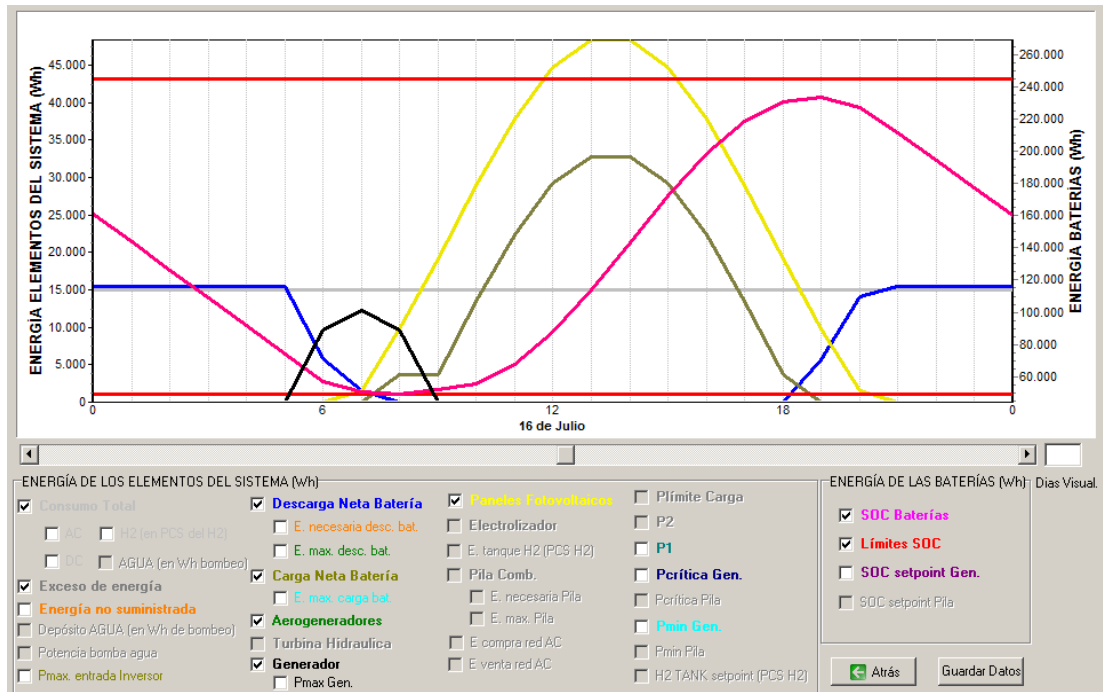


Fig. 15 Gráfica día mejor en mínimo económico de Masatrigos I

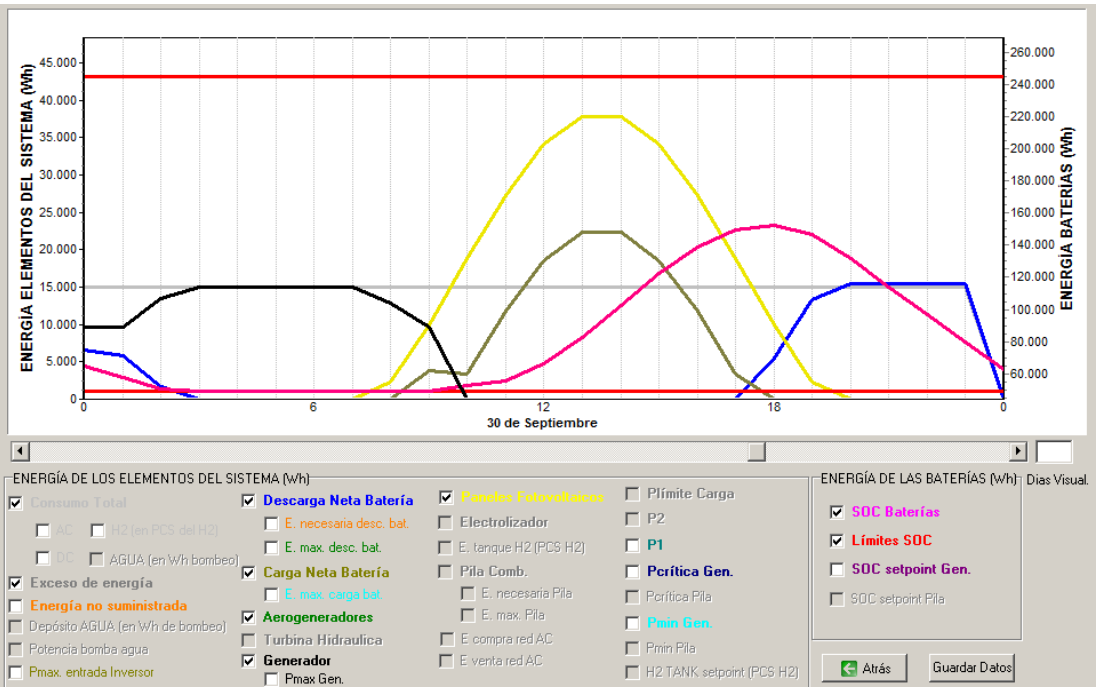


Fig. 14 Gráfica día peor en mínimo económico de Masatrigos I

MASATRIGOS II

Muy similar a Masatrigos I, pero con carga de menor potencia. El mínimo económico [anexo 65] se alcanza combinando la generación Diesel existente con 42 kW_p de fotovoltaica, además de baterías para acumulación de 244,8 kWh [Fig. 16].

Las emisiones del sistema actual (sólo generador Diesel) [anexo 64] son de 39.038 kg CO₂/año mientras que con el mínimo económico antedicho se reducen a 4.591 kg CO₂/año. Como desventaja, la inversión inicial es de 175.944 €, contra los 6.522 € actuales. No obstante, el menor consumo de gasóleo reduce sustancialmente los costes anuales, consiguiendo un mejor Coste Total VAN [Fig. 17].

El día mejor [Fig. 18] no llega a entrar en funcionamiento el generador Diesel, al contrario que el día peor [Fig. 19].

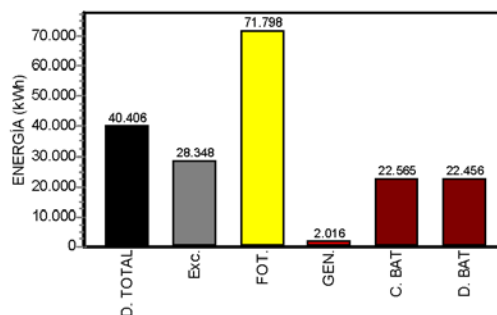


Fig. 16 Gráfica de Balance energético del mínimo económico de Masatrigos II

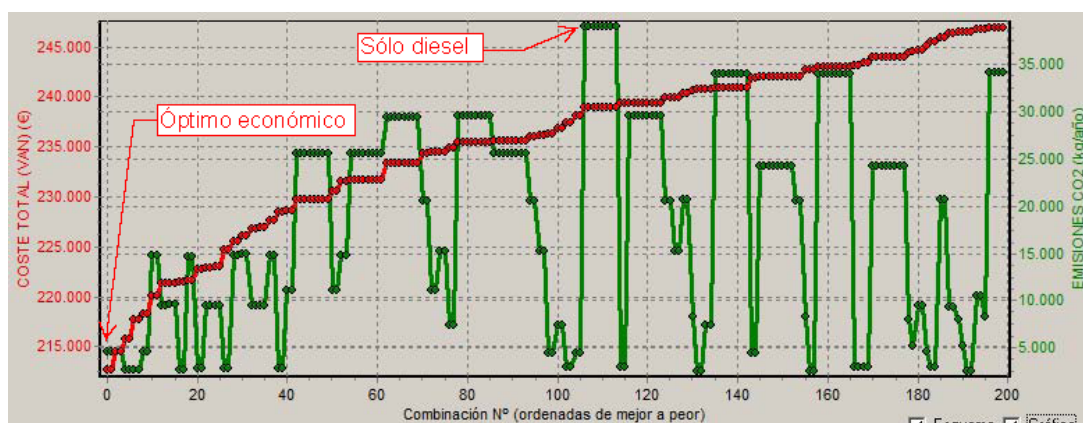


Fig. 17 Gráfica de soluciones de Masatrigos II

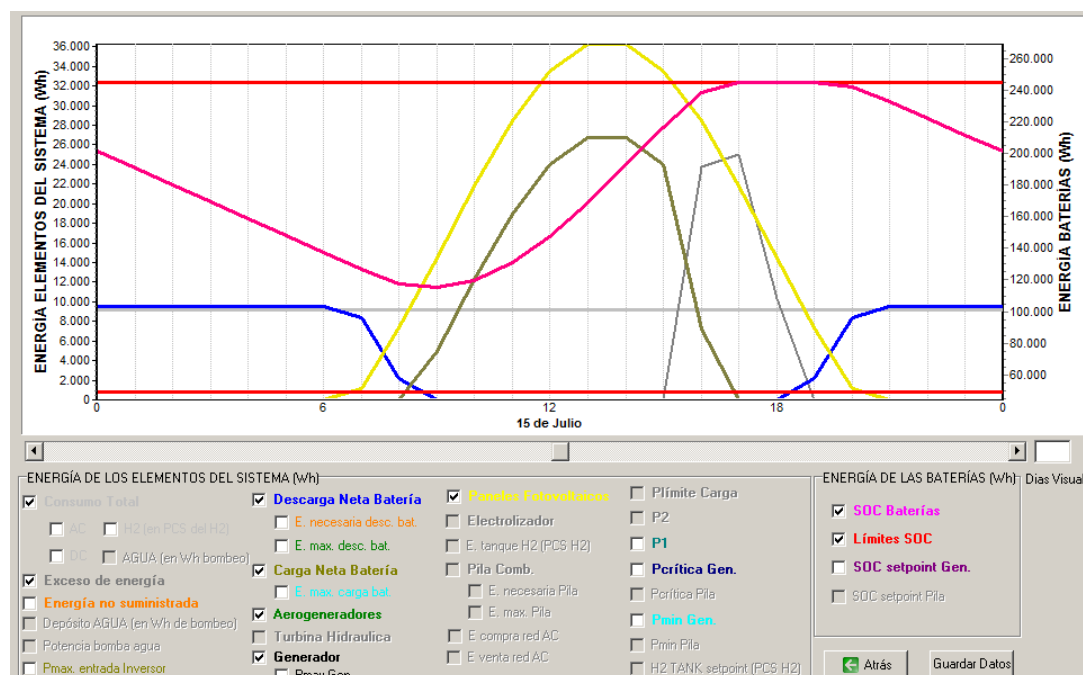


Fig. 18 Gráfica día mejor en mínimo económico de Masatrigos II

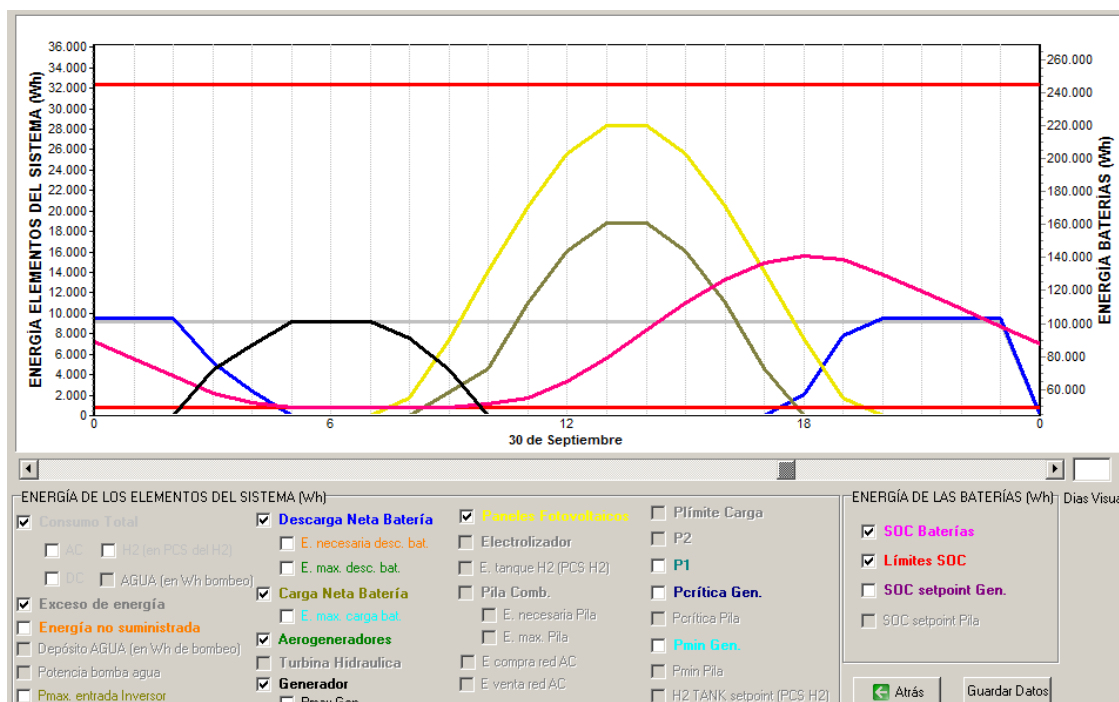


Fig. 19 Gráfica día peor en mínimo económico de Masatrigos II

MERLA

Al contrario que en Masatrigos I y II, el período diario de conexión de la carga es breve. Concentrándolo alrededor del mediodía, el mínimo económico [anexo 69] se alcanza con únicamente 4,2 kW_p de fotovoltaica, apoyada por baterías con capacidad de acumulación de 12,6 kWh, sin generador Diesel y un Coste Total VAN de 27.179 € [Fig. 20].

Así, Merla es la única instalación aislada, de entre las tres estudiadas, en que el mínimo económico se obtiene en ausencia de generador Diesel.

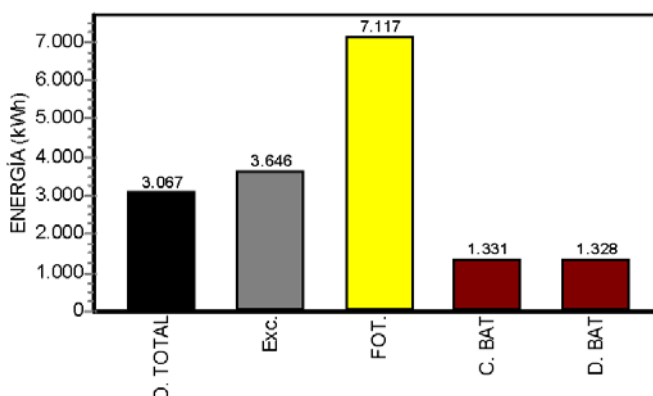


Fig. 20 Balance energético del mínimo económico de Merla

Si, por el contrario, la carga se conectase durante la noche, el mínimo económico resultaría ser sólo generación Diesel. Ese caso, igual al actual [anexo 68], presenta unas emisiones de 4.116 kg CO₂/año, mientras que con la carga diurna el mínimo económico reduce las emisiones a 192 kg CO₂/año. Como desventaja, la inversión inicial de 20.547 €, contra los 6.522 € actuales. No obstante, al no existir consumo de gasóleo casi desaparecen los costes anuales, consiguiendo un mejor Coste Total VAN [Fig. 21].

Al resultar una instalación con generación únicamente fotovoltaica, efectuamos la comparación con el resultado que se obtendría por el método del mes peor, que resulta tener 5,6 kW_p de paneles, 37,8 kWh de acumulación y un Coste Total VAN de 44.965 €.

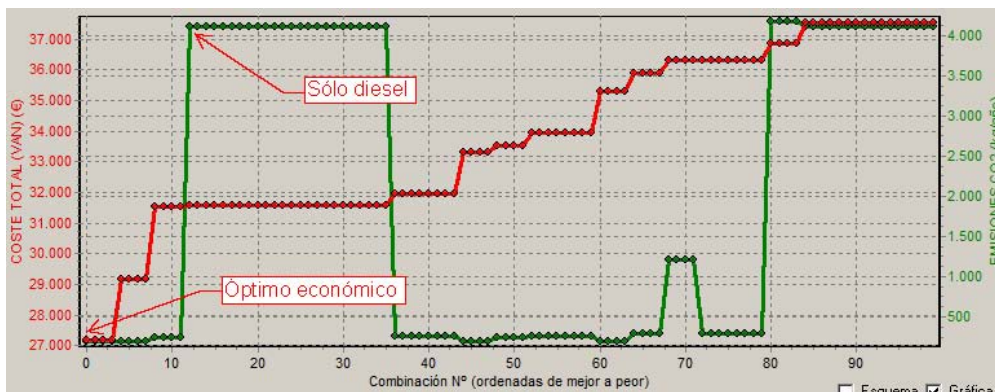


Fig. 21 Gráfica de soluciones de Merla

En las gráficas de día mejor [Fig. 22] y peor [Fig. 23] se aprecia el efecto de concentrar el consumo en las horas de mayor recurso solar.



Fig. 22 Gráfica día mejor en mínimo económico de Merla

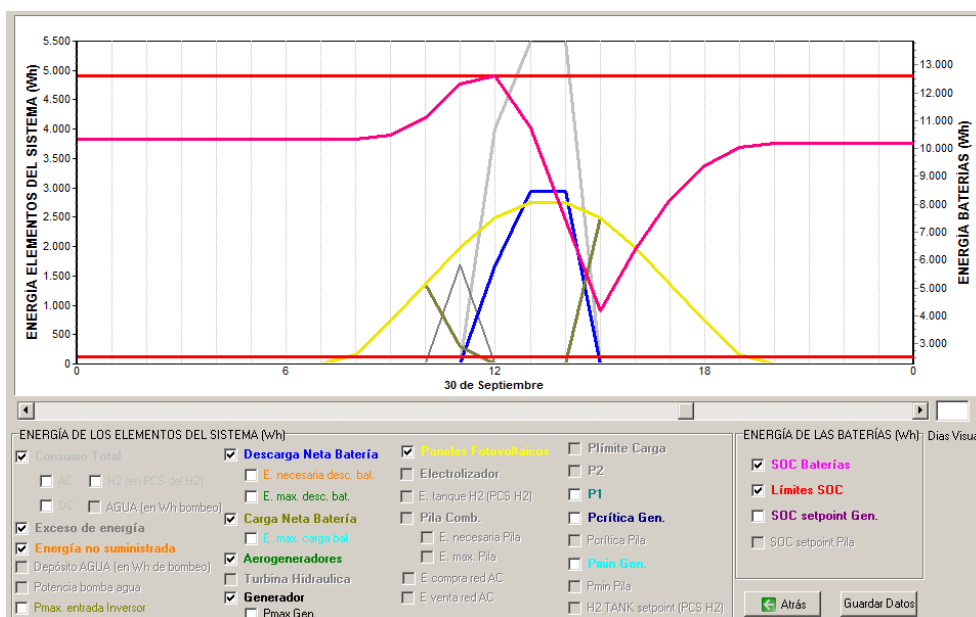


Fig. 23 Gráfica día peor en mínimo económico de Merla

5.2.2 Instalaciones conectadas a red

En la optimización consideramos la posible incorporación de fotovoltaica y eólica. No se considera acumulación ni generación Diesel.

Para cada instalación efectuamos dos optimizaciones. La primera considera la posibilidad de comprar energía a la red pero no de venderla. La segunda incorpora la posibilidad de venta a la red, limitando la generación renovable a aquella necesaria para aportar la energía del sistema en régimen anual. Esta situación es asimilable a utilizar la red como medio de equilibrar la diacronía entre generación y demanda, la misma función que cumple la acumulación en un sistema aislado. En la venta de la energía excedente en cada momento a la red consideramos un factor de pérdidas del 10%, que representa las pérdidas inherentes al proceso de intercambio hacia el exterior. Esto acrecienta el paralelismo con la función de la acumulación en el caso de las instalaciones aisladas. El precio de venta a la red en baja tensión (bodega) se establece en 0,10 € (contra los 0,12 € de compra) y en alta tensión (San Jorge y Filada) en 0,075 € (contra los 0,09 € de compra). No consideramos primas, ya que su inclusión transformaría el estudio orientado a satisfacer el propio consumo en el de un parque eólico o solar, algo ajeno a las intenciones del presente trabajo.

Al tratarse de instalaciones conectadas a red y disponer por lo tanto de la posibilidad de consumir (y en su caso verter) energía en ella, optamos por la inclinación que maximiza la producción en régimen anual, que en todos los casos resulta ser de 37°.

Se consideran conjuntamente la balsa de San Jorge y Filada, ya que están muy próximas y conectadas a la misma línea eléctrica bajo un solo contrato de suministro.

SAN JORGE: BALSAS SAN JORGE Y FILADA

Un criterio aplicado en la demanda introducida en la simulación consiste en que las bombas se accionan individualmente, para reducir la facturación del término de potencia (red) y en su caso el tamaño de los inversores (renovable).

El mínimo económico (sin considerar venta de energía) [anexo 70] se obtiene utilizando la red como única fuente de suministro. Ésta, que es la situación actual, presenta un Coste Total VAN de 320.208 € y un coste actualizado de 0,07 €/kWh y unas emisiones anuales de 70.696 kg CO₂.

Considerando la venta a red, el mínimo económico [anexo 71] [Fig. 24] se alcanza incorporando dos aerogeneradores de 35 kW, lo que da un Coste Total VAN de 317.342 €, un coste actualizado de la energía de 0,07 €/kWh y unas emisiones anuales de 23.029 kg CO₂, mejorando todo ello la opción “sólo red”. El inconveniente es la inversión inicial necesaria de 136.062 €.

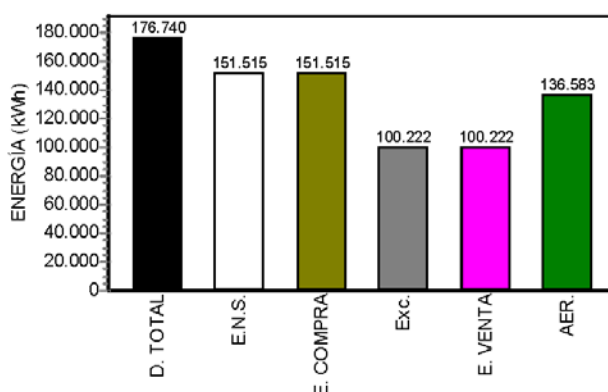


Fig. 24 Balance energético del mínimo económico de San Jorge y Filada con venta a red

Durante la temporada de riego, a lo largo de varios días cualesquiera de la simulación del sistema [Fig. 25], se comprueba que el consumo de la bomba de mayor potencia (concentrado en pocas horas diarias de operación) sigue requiriendo un aporte mayoritario de energía desde la red. La infraestructura de la línea eléctrica existente permitiría y aún agradecería la presencia de una mayor generación local.

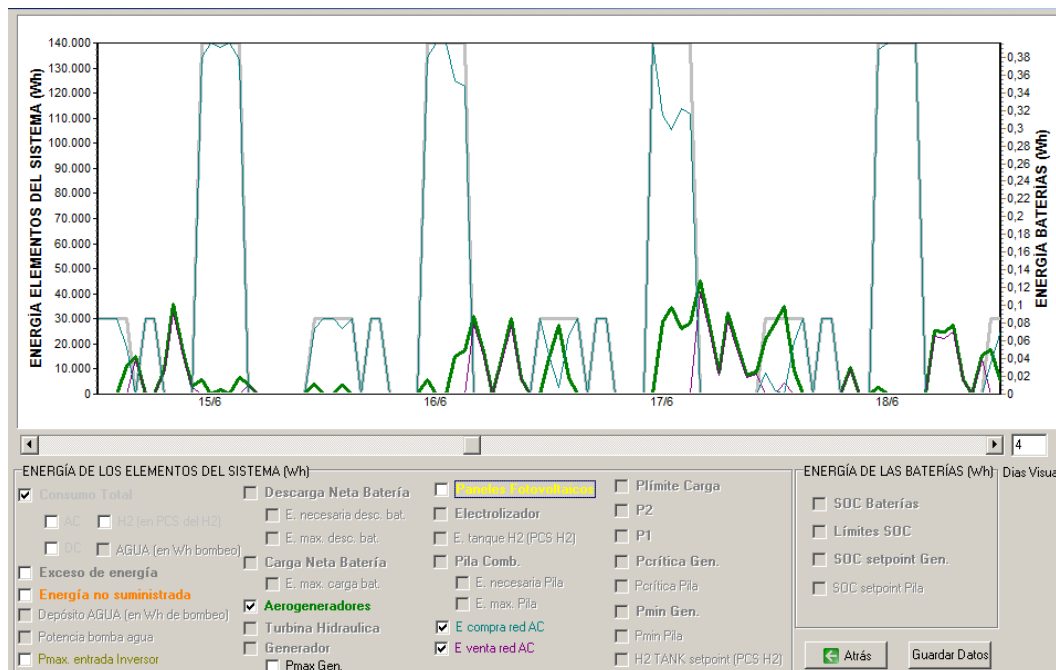


Fig. 25 Gráfica de 4 días en temporada de riego San Jorge y Filada. Mínimo económico

Fuera de la temporada de riego, toda la producción se vende a la red, dando uso así a una infraestructura de línea que en ausencia de generación local estaría ociosa.

BODEGA

La compra de energía a la red, que es la situación actual [anexo 74], ofrece un Coste Total VAN de 154.673 € y un coste actualizado de 0,10 €/kWh y unas emisiones anuales de 25.563 kg CO₂. Esa es la solución económicamente óptima si no se permite la venta de la energía excedente de la posible generación renovable.

En la segunda optimización, con venta a red, el mínimo económico [anexo 75] [Fig. 26] se alcanza incorporando un aerogenerador de 35 kW, lo que da un Coste Total VAN de 111.401 €, un coste actualizado de la energía de 0,07 €/kWh y unas emisiones anuales de 1.256 kg CO₂, mejorando todo ello la opción “sólo red”. De nuevo, el inconveniente es la mayor inversión inicial necesaria.

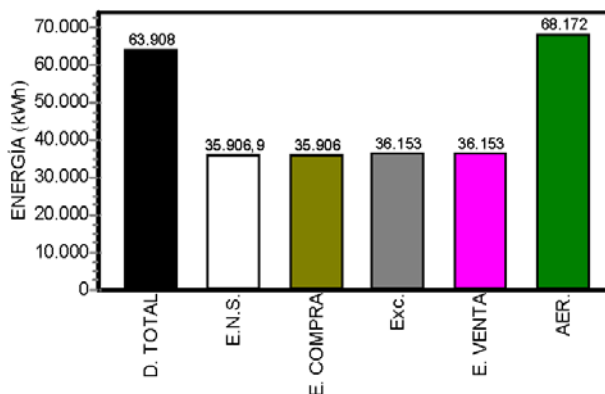


Fig. 26 Balance energético del mínimo económico de la Bodega con venta a red

A lo largo de varios días cualesquiera de la simulación del sistema [Fig. 27], se observa que las potencias máximas de generación, demanda, compra y venta no guardan grandes diferencias de magnitud. El conjunto de la instalación está proporcionado y puede aprovechar la capacidad de la línea.

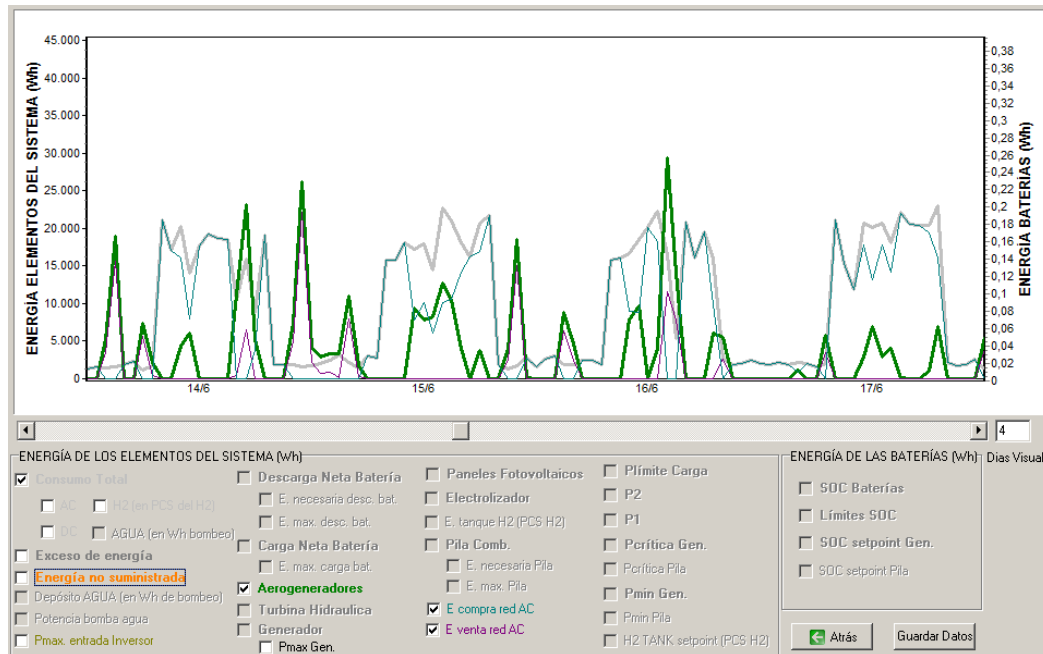


Fig. 27 Gráfica de 4 días bodega. Mínimo económico

5.3 Análisis de sensibilidad

Para cada instalación, se han estudiado diferentes escenarios previsibles de precios, tarifas y primas que pueden hacer viable económicamente las inversiones en generación renovable. El programa utilizado es nuevamente HOGA.

5.3.1 Instalaciones aisladas: combustible, interés del dinero, acumulación

Se constata que existe una gran sensibilidad ante la variación del interés del dinero. La fracción renovable desaparece del mínimo económico simplemente aumentándolo dos puntos en Masatrigos I y II, (del 6% al 8%) y tres en Merla (al 9%). Esto se debe a que la generación renovable requiere una fuerte inversión inicial, mientras que el Diesel supone por el contrario un importante coste anual de gasóleo. Paralelamente sucede si la inflación del gasóleo se reduce del 6% al 4%. Así, uno de los parámetros que influyen más decisivamente en la rentabilidad o no de la incorporación de energía renovable es el diferencial entre el interés de mercado y la inflación del gasóleo. Si aquel baja o/y ésta sube, se reduce el peso en el Coste Total VAN de la inversión inicial de la renovable y aumenta el de las sucesivas compras anuales de combustible.

En Masatrigos I y II, si el coste del gasóleo se incrementa, aumenta la fracción renovable, en algunos casos con incorporación de eólica y disminuye la utilización del generador Diesel. Sin embargo, su desaparición completa sólo se produce con el combustible a precios muy altos.

En cuanto al coste de las instalaciones, cobra especial importancia la acumulación. Un abaratamiento de la misma, vía reducción de costes o aumento de eficiencia, permitiría un mejor aprovechamiento de la parte de generación que es diacrónica respecto a la demanda.

5.3.2 Instalaciones conectadas a red: tarifa eléctrica, venta a la red y primas

La sensibilidad existente en las instalaciones aisladas al binomio interés del dinero contra inflación del gasóleo se traslada, en las instalaciones conectadas a la red, a la inflación de la tarifa eléctrica. En San Jorge y Filada, con tan solo un punto de incremento del interés (al 7%) ya desaparece la generación renovable del mínimo económico. Pareja sensibilidad, sensu contrario, se manifiesta al pasar del 4% al 5% la inflación de la tarifa eléctrica, compensando el efecto del interés. En la bodega, la desaparición del aerogenerador se retrasa hasta que el interés alcanza el 11%, debido al mayor precio de la tarifa en BT y al perfil menos estacional de la demanda (lo que requiere menos compra-venta a la red para equilibrar generación y demanda).

Aunque no se trate estrictamente de un análisis de sensibilidad, procede señalar que para que la generación renovable en las instalaciones conectadas a red tenga viabilidad económica, en los escenarios económicos razonablemente previsibles, es necesario que exista la posibilidad de venta de energía a la red. Independientemente de la existencia o no de primas a la producción renovable, el efecto de nivelar a lo largo del tiempo generación y la demanda resulta necesario para el aprovechamiento del recurso autóctono.

En cuanto a las primas para la venta de energía renovable a la red, supondrían un incentivo importante a la rentabilidad de la inversión. Sin embargo no son el factor decisivo, resultando mucho más importante la presencia de una normativa que haga posible y facilite (contrariamente a lo que sucede ahora) la integración de generación renovable, autoconsumo y compra y venta a la red.

5.4 Optimización de emisiones

Al limitarse el estudio a la energía eléctrica involucrada en el proceso, el objetivo de reducción de emisiones se refiere a las provocadas por dicha energía. No obstante, cabe recordar que existen producciones de biomasa referidas en [5.1.3](#) cuyo aprovechamiento podría contribuir a la reducción general de emisiones en el proceso vitivinícola del caso de estudio, por un total anual de 58,065 Tep.

Para obtener los mínimos de emisiones de entre las diferentes combinaciones posibles, utilizamos HOGA (Fig. 28) en optimización multiobjetivo, (menores emisiones, menor Coste Total VAN).

El consumo de combustibles fósiles, bien sea en los generadores Diesel como en el mix de generación centralizada de la red, es una importante fuente de emisiones. Sin embargo, no cabe despreciar las incorporadas por la fabricación, transporte y futuro desguace de los elementos que componen la instalación (emisiones a lo largo del ciclo de vida) [12], [13] y [14]. Esto último es aplicable tanto a los generadores Diesel como a los renovables o a la acumulación. Por ello, diferenciamos en las sucesivas tablas de datos las emisiones de combustible del total de emisiones.

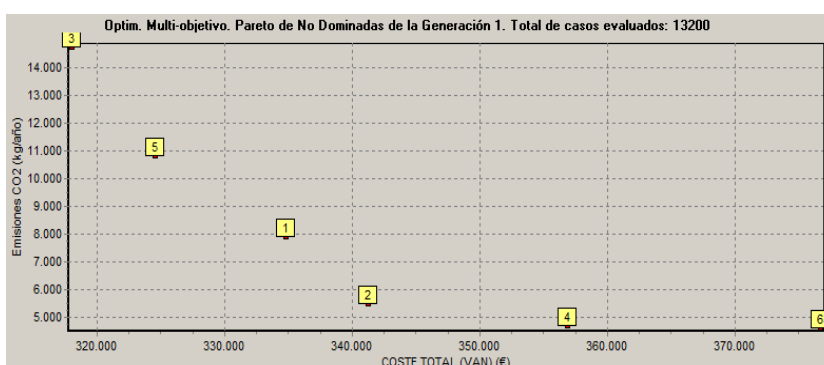


Fig. 28 Gráfica de soluciones no dominadas en optimización multiobjetivo. HOGA

5.4.1 Instalaciones aisladas

Para cada instalación, los resultados se muestran en una tabla comparando la situación actual (sólo Diesel), el mínimo económico obtenido, el mínimo económico condicionado a la desaparición del Diesel (o lo que es lo mismo, fracción renovable del 100%) y el mínimo de emisiones.

MASATRIGOS I

Para eliminar el generador Diesel [anexo 62], respecto al sistema mínimo económico, la acumulación se duplica, se aumenta ligeramente la fotovoltaica y aparece la eólica con un aerogenerador de 35 kW. Sin embargo, el mínimo de emisiones [anexo 63] se alcanza con ese mismo aumento de la generación renovable, pero sin eliminar el Diesel ni duplicar la acumulación. En la comparativa [Tabla 3] se aprecia que la reducción de emisiones desde el Diesel actual al mínimo económico ha sido sustancial sin perjudicar, sino mejorando el Coste Total VAN de la instalación. La posterior reducción al eliminar el generador Diesel ha sido relativamente pequeña, aún a costa de elevar significativamente el Coste Total VAN. También se constata que el mínimo de emisiones se alcanza sin eliminar el Diesel y con un Coste Total VAN mejor que si se eliminase, ya que su presencia, aunque funcione muy pocas horas al año, puede evitar la necesidad de aumentar demasiado la generación renovable o la acumulación, con lo que ello repercute en las emisiones de fabricación.

Sistema	Sólo Diesel (anexo 60)	Mínimo económico (anexo 61)	Sin Diesel (anexo 62)	Mínimo emisiones (anexo 63)
Horas anuales funcionamiento Diesel	4.392	1.019	0	25
Emisiones combustible (kg CO ₂ /año)	40.990	8.177	0	173
Emisiones totales (kg CO ₂ /año)	59.164	14.738	5.516	4.647
Coste Total VAN a 25 años (€)	352.950	318.051	421.344	376.734

Tabla 3 Horas anuales de funcionamiento Diesel, Emisiones y Coste Total VAN para Masatrigos I

MASATRIGOS II

Para eliminar el generador Diesel [anexo 66], respecto al mínimo económico la fotovoltaica pasa de 42 kW_p a 56 kW_p. Sin embargo, el mínimo de emisiones [anexo 67] se alcanza con 49 kW_p, reduciendo de 244,8 kWh a 208,8 kWh la acumulación y manteniendo, aunque muy poco activo, el Diesel. [Tabla 4] El sistema sin Diesel presenta mejor Coste Total VAN que el mínimo de emisiones, al contrario que en Masatrigos I. Incluso mejor que el sistema actual sólo Diesel. La diferencia de emisiones entre ambos es de sólo un 6%. En este caso, la opción más equilibrada en la reducción de emisiones, si se quiere mejorar lo ya conseguido por el mínimo económico, sería la instalación sin Diesel.

Sistema	Sólo Diesel (anexo 64)	Mínimo económico (anexo 65)	Sin Diesel (anexo 66)	Mínimo emisiones (anexo 67)
Horas anuales funcionamiento Diesel	4.392	306	0	32
Emisiones combustible (kg CO ₂ /año)	27.127	1.474	0	135
Emisiones totales (kg CO ₂ /año)	39.038	4.591	2.914	2.732
Coste Total VAN a 25 años (€)	238.912	212.682	237.336	250.029

Tabla 4 Horas anuales funcionamiento Diesel, Emisiones y Coste Total VAN para Masatrigos II

MERLA

La misma combinación resulta mínimo económico, mínimo de emisiones y también prescinde de generación Diesel [Tabla 5]. Ello se ve favorecido por diversas causas. Por una parte, la demanda de energía es relativamente pequeña. Los precios de los generadores Diesel no guardan proporcionalidad directa con su potencia, cosa que sí ocurre con los fotovoltaicos. Además, la concentración de la demanda energética en las horas del día y los meses del año de mayor radiación, hace que la necesidad de acumulación sea pequeña.

Sistema	Sólo Diesel (anexo 68)	Mínimo económico (anexo 69)	Sin Diesel (anexo 69)	Mínimo emisiones (anexo 69)
Horas anuales funcionamiento Diesel	642	0	0	0
Emisiones combustible (kg CO ₂ /año)	2.844	0	0	0
Emisiones totales (kg CO ₂ /año)	4.116	192	192	192
Coste Total VAN a 25 años (€)	34.163	27.179	27.179	27.179

Tabla 5 Horas anuales de funcionamiento Diesel, Emisiones y Coste Total VAN para Merla

Así, Merla se convierte en la instalación aislada, de entre las estudiadas, donde más fácilmente se alcanza el mínimo de emisiones.

5.4.2 Instalaciones conectadas a red

Las dos primeras opciones comparadas en el caso de instalaciones conectadas a red son la situación actual (suministro únicamente desde la red) y el mínimo económico (pudiendo comprar y vender energía a la red). Con el objetivo de reducción de emisiones consideramos dos posibles objetivos. El primero consiste en generar tanta energía renovable como demanda la carga, en régimen anual. Así, la energía extraída y la vertida a la red serán iguales, pudiendo asimilarlo a una penetración renovable del 100% y un *net balance* cero. El segundo va más allá, con una producción renovable excedentaria (y vertida a la red) suficiente para compensar las emisiones de la fabricación de los elementos del conjunto de la generación local instalada. Los escalones de generación considerados (unidades y potencias) no permiten ajustar exactamente a cero los balances de compraventa a red o de emisiones. Se presentan las primeras soluciones que rebasan el balance cero.

SAN JORGE: BALSAS SAN JORGE Y FILADA

Ya con el mínimo económico se ha producido una considerable reducción de emisiones. Con un Coste Total VAN ligeramente peor [Tabla 6] se obtiene el balance de emisiones cero [anexo 73], colocando un tercer aerogenerador de 35 kW, modelo que ha resultado muy adecuado en estas instalaciones.

La solución de balance de energía cero [anexo 72], que en principio parece una condición menos exigente, requiere una elevación considerable del Coste Total VAN. Ello es debido a que se consigue introduciendo generación fotovoltaica, con potencia menor que la del tercer aerogenerador mencionado. Así, la exigencia de modular la potencia de generación de forma excesivamente escalonada ha llevado a introducir un tipo de generador menos rentable (en este caso fotovoltaico). Eligiendo otros modelos de aerogeneradores es posible que pudiera paliarse este efecto. Sin embargo, parece más lógico considerar para la optimización los generadores idóneos (por disponibilidad comercial, por adecuación al tipo de viento de la ubicación, etc.) y validar los resultados con tal de que los escalones que se obtengan cumplan la condición exigida, aunque la superen con creces.

Sistema	Sólo red (anexo 70)	Mínimo económico (anexo 71)	Balance energía cero (anexo72)	Balance emisiones cero (anexo 73)
Emisiones energía comprada a red (kg CO ₂ /año)	70.696	60.606	52.452	57.195
Compensación de emisiones por venta de energía a red (kg CO ₂ /año)	0	-40.089	-52.957	-61.604
Emisiones materiales instalación generación local (kg CO ₂ /año)	0	2.512	3.520	3.768
Emisiones totales (kg CO ₂ /año)	70.696	23.029	3.015	-641
Coste Total VAN a 25 años (€)	320.208	317.342	348.299	317.758

Tabla 6 Emisiones y Coste Total VAN para San Jorge y Filada

BODEGA

Con el propio mínimo económico se obtiene ya el balance de energía cero [Tabla 7]. Respecto al caso anterior, cuya carga era un riego estacional, el consumo a lo largo de todo el año favorece que el intercambio con la red pueda ser proporcionalmente menor. En la instalación de riego estacional, toda la energía producida fuera de temporada debía ser vendida a la red, con su cuota de pérdidas energéticas y económicas, cosa que en este caso no sucede. Se trata aquí de una situación más favorable.

Para superar el balance de cero emisiones se hace necesario sustituir el generador de 35 kW por uno de 50 kW [anexo 76]. El Coste Total VAN empeora, debido principalmente a la menor idoneidad del modelo de aerogenerador.

Sistema	Sólo red (anexo 74)	Mínimo económico (anexo 75)	Balance energía cero (anexo 75)	Balance emisiones cero (anexo 76)
Emisiones energía comprada a red (kg CO ₂ /año)	25.563	14.363	14.363	11.974
Compensación de emisiones por venta de energía a red (kg CO ₂ /año)	0	-14.461	-14.461	-16.307
Emisiones materiales instalación generación local (kg CO ₂ /año)	0	1.256	1.256	2.076
Emisiones totales (kg CO ₂ /año)	25.563	1.158	1.158	2.257
Coste Total VAN a 25 años (€)	154.673	111.401	111.401	135.082

Tabla 7 Emisiones y Coste Total VAN para la bodega

La posibilidad de vender a la red excedentes de energía renovable, en cantidad suficiente para compensar las emisiones tanto de la propia instalación como de varias del mismo proceso o empresa, queda apuntada.

6 Conclusiones

El conjunto de datos económicos tomados como base en las simulaciones efectuadas supera ligeramente la frontera a partir de la cual se puede rentabilizar la inversión. En general, está empezando a ser rentable la incorporación de energía renovable en las instalaciones del tipo estudiado. Esta tendencia es muy probable que se incremente en el futuro, ya que la mayoría de los escenarios incluyen que los precios de la generación renovable y de la acumulación bajen y que el precio del combustible y las tarifas eléctricas suban, aún en mayor medida que lo aquí planteado. Esto último puede ser consecuencia del devenir del mercado, de una imposición de tasas a las emisiones o de ambas causas.

La principal incógnita procede de los cambios normativos: de la política energética respecto al fomento de las renovables y de la mitigación de emisiones de CO₂.

Es de reseñar que, en el conjunto de las instalaciones estudiadas, sustituyendo la configuración actual por el mínimo económico se obtiene además una reducción del 78% de las emisiones, pasando de 199 t CO₂ a 44 t CO₂ anuales.

Hay que dejar constancia de que el criterio de evaluación económica utilizado en el presente estudio (VAN a 25 años) no coincide con los métodos actualmente utilizados por los inversores y la banca para decidir la financiación de una instalación eólica o fotovoltaica destinada exclusivamente a la producción y venta a red. Aquí no se ha tratado de ver si interesa o no crear una instalación de producción energética, sino de determinar las condiciones para utilizar un mix de generación u otro en una instalación necesaria para un proceso concreto.

El principal obstáculo práctico para la integración de renovables, aún cuando sean el mínimo económico al presentar el mejor Coste Total VAN, es la gran inversión inicial necesaria. Cobra especial importancia el acceso a la financiación, así como su coste. Si desde los poderes públicos se quiere facilitar la transición a un modelo energético más sostenible, con menos emisiones y con una red eléctrica menos saturada, las ayudas pueden ser mucho más eficaces si se orientan a la financiación de inversiones a largo plazo mejor que a un sistema de primas a la producción bruta.

Aunque sea de muy diferente naturaleza, no conviene olvidar una dificultad añadida a la incorporación de generación renovable (especialmente fotovoltaica) ubicada en pleno campo. Se trata del riesgo de robo de paneles u otros elementos de la instalación. Ante ello cabe tomar medidas de seguridad, vigilancia y aseguramiento, además de la necesaria acción policial.

6.1 Instalaciones aisladas

En instalaciones existentes, es imprescindible una revisión previa para detectar situaciones anómalas o mejorables, como el dimensionado del generador Diesel, el factor de potencia o el modo de arranque de los motores.

Uno de los resultados más llamativos es la preferencia obtenida en los riegos de la generación fotovoltaica sobre la eólica. Esto se debe a que la temporada de riego coincide con la época de mayor irradiación del año. Otra consecuencia es que la gestión energética óptima pasa por regar preferentemente en las horas centrales del día. No obstante, cuando existen bombas diferenciadas para extracción y riego y una balsa con capacidad para el agua del día, la extracción que requiere un mayor consumo puede hacerse durante el día y el riego puede hacerse durante la noche.

Las características de la generación renovable (en especial la inclinación del campo de captación fotovoltaico) deben determinarse siempre en función del perfil mensual de la

demanda (temporada de riego). Producir más o menos energía durante los meses en que no hay consumo es absolutamente inútil.

Para no verse obligado a recurrir a una generación y sobre todo acumulación mayor, es importante el adecuado dimensionamiento de los caudales de las bombas, teniendo en cuenta las necesidades hídricas de los cultivos, de tal forma que la gestión de los riegos pueda ser coherente con el perfil cambiante del recurso a lo largo del día (fotovoltaico + eólico) y la noche (eólico). La utilización de bombas de velocidad variable es una buena opción. En los casos de necesidades hídricas moderadas, cabe plantear la instalación de bombas directamente alimentadas por paneles solares, mediante un regulador de velocidad que combine seguimiento del punto de máxima potencia [anexo 39].

En las instalaciones donde el consumo es durante la noche o a lo largo de todo el día, la desaparición de la generación Diesel en los mínimos económicos, sólo se produce ante enormes incrementos del precio de combustible. Lo que sí se produce ante incrementos moderados es la reducción del consumo de gasóleo por la mayor penetración de la renovable. Otro factor que favorecería la desaparición del Diesel sería el abaratamiento de la acumulación. Incluso la máxima reducción de emisiones (en cómputo que incluya las de fabricación), según los casos, puede requerir el mantenimiento del Diesel para algunas pocas horas al año, pudiendo resultar también más barato que su desaparición. Por todo ello, es necesario estudiar cada caso concreto, ya que en muchos de ellos puede ser conveniente contar con generadores Diesel de apoyo, bien sean nuevos por su bajo costo de inversión, bien sean los existentes por la gran reducción que provocará en su uso la integración de fuentes renovables.

Ante incrementos moderados del coste del gasóleo, en las instalaciones donde el consumo se presenta durante las horas centrales del día y en los meses de mayor irradiación, orientando adecuadamente los paneles fotovoltaicos, puede alcanzarse el mínimo con fotovoltaica y una moderada acumulación, incluso prescindiendo del Diesel.

En los casos estudiados, no ha resultado económicamente viable la producción de hidrógeno, ni para su utilización en la propia instalación ni para su venta. Esto podría variar en el futuro, en caso de que los costes se vieran enormemente reducidos. Así, queda pendiente de solución, tecnológica y económica, el deseable aprovechamiento de la energía que puede producir la instalación a coste cero fuera de la temporada de riego.

6.2 Instalaciones conectadas a red

En este tipo de instalaciones también es importante efectuar una revisión previa para detectar situaciones anómalas o mejorables, como el factor de potencia.

Si no está permitido el autoconsumo combinado con la venta a la red, no existe viabilidad económica para incorporar generación renovable. Si en esa situación se desea compensar de alguna forma las emisiones del proceso, puede plantearse la creación de un parque eólico o fotovoltaico completamente independiente y sometido al régimen económico vigente para la generación renovable. Si se dimensiona de tal forma que vierta a la red la producción suficiente para ello, podría asimilarse a un balance cero.

La verdadera incorporación de energía renovable en instalaciones conectadas a red pasa necesariamente por un cambio en la normativa, que permita la generación para autoconsumo, vertiendo en la red cuando la producción es mayor que la demanda y extrayendo cuando es menor. Esto es mucho más importante a medio y largo plazo que las primas a la producción renovable y no representa un coste para los consumidores y contribuyentes.

Con la posibilidad de comprar y vender a la red, puede independizarse temporalmente la generación del consumo. Si el horario de riego es limitado, puede adecuarse a la conveniencia

del cultivo y también aprovechar la tarifa nocturna. Alternativamente, puede adaptarse a los periodos de máxima generación, reduciendo así el intercambio de energía con la red. La utilización de bombas de velocidad variable reduciría aún más esa necesidad de intercambio.

Independientemente de la mayor o menor adecuación de los perfiles temporales de generación y demanda, allá donde existe un razonable recurso eólico los aerogeneradores resultan más rentables que los paneles fotovoltaicos.

Una buena opción es instalar una generación renovable optimizada para producir, en cómputo anual, la misma cantidad de energía requerida por las cargas, comprando o vendiendo a la red la deficitaria o excedentaria en cada momento. De esta forma se aprovecha al máximo el recurso disponible y se puede consumir de la red en horas de tarifa baja (regando por la noche). Al buscar el balance energético en régimen anual, las características de la generación renovable (en especial la inclinación del campo de captación fotovoltaico) deben determinarse maximizando la producción anual.

La incorporación de generación renovable en instalaciones vitivinícolas conectadas a red puede hacerse también con la finalidad de compensar las emisiones asociadas al consumo energético de todo el proceso, incluyendo aquellas que, como ya hemos visto, no se han podido eliminar de las instalaciones aisladas.

6.3 El sector vitivinícola y la energía renovable

Como en el conjunto de la sociedad y en la mayor parte de los sectores de actividad, en el vitivinícola existe un incipiente interés por la sostenibilidad y, derivado de ella, por la energía renovable. Aún en el inicio de este proceso, se constata que la información en poder de las empresas y de sus dirigentes es escasa, incompleta y en algunos casos confusa. Probablemente la causa de esa carencia, que también se da en otros muchos ámbitos empresariales e incluso técnicos, está relacionada con la apuesta de las compañías eléctricas y del Estado por un modelo de generación renovable centralizado. Este modelo no necesita de la participación de los consumidores de la electricidad y por lo tanto no ha sido preciso informarlos ni involucrarlos. Así, con el agravante de la crisis económica general y la particular del sector del vino, buena parte de las empresas ni se plantean acción alguna que requiera de inversión en generación renovable. Hay sin embargo una élite de compañías y organizaciones que han iniciado esfuerzos de implantación e incluso de investigación relacionada con la sostenibilidad de sus procesos. Aún así, es poca la atención que la energía y en especial la electricidad, está mereciendo. Como consecuencia de todo ello, los empresarios y dirigentes del sector carecen de información suficiente para la toma de decisiones avanzadas en lo que a integración de energía renovable en sus negocios se refiere.

El incremento de la práctica del riego, especialmente cuando se extrae agua de acuíferos profundos, incrementa y condiciona fuertemente la demanda energética del cultivo. Cuando la red eléctrica no está presente, se utilizan generadores Diesel. En esas instalaciones aisladas (tanto grandes como pequeñas), resulta especialmente aconsejable efectuar un estudio de integración de generación renovable, pudiendo conseguirse mejoras tanto en sostenibilidad como en rentabilidad a largo plazo.

En cuanto a las instalaciones conectadas a la red eléctrica, en la mayoría de los casos no se ha planteado más optimización energética que la resultante de aprovechar, cuando es posible, el período horario de tarifa reducida. Las posibilidades de utilización de generación renovable no están suficientemente evaluadas y, cuando se evalúan, se suele tener como única referencia la utilizada para los huertos solares o parques eólicos cuya naturaleza técnica y finalidad económica es muy diferente.

Significativamente, los estudios efectuados sobre las instalaciones conectadas a la red apuntan a la conveniencia técnica y económica de permitirles incorporar generación renovable para autoconsumo y venta a la red. En la misma dirección apuntan los avances científicos y técnicos hacia las llamadas redes inteligentes (*smart grid*). Si la evolución de la política energética es consecuente, basculará paulatinamente desde el sistema de primas a la producción renovable centralizada, hacia el fomento de la inversión en generación renovable dispersa. Se trata de algo tan lógico como utilizar los recursos autóctonos para satisfacer las demandas allí donde se producen. En ese contexto, el consumidor de electricidad pasa a ser también productor y agente activo en la obtención o no de sostenibilidad en su balance eléctrico. Las instalaciones vitivinícolas, tanto de cultivo como de elaboración, frecuentemente disponen en su entorno de los recursos (radiación solar, viento, biomasa, etc.) y de las condiciones (espacio abierto, perfil de demanda energética) idóneas para aprovecharlos.

El escenario energético, económico y tecnológico actual está marcado por el aumento del coste de la electricidad, más aún con la supresión de las subvenciones para consumos de riego, la disminución paulatina de los costes de la generación renovable, la incorporación de nuevas tecnologías de almacenamiento y la necesidad de reducción de los impactos medioambientales.

Aunque hay abundantes trabajos que abordan los sistemas de bombeo y la incorporación de renovables, el enfoque específico adaptado al sector vitivinícola no se ha abordado. El camino hacia la sostenibilidad, bien se inicie por razones económicas, por responsabilidad corporativa, por eco-marketing o por imposición normativa requiere un procedimiento suficientemente sencillo de análisis para el incremento de la eficiencia energética, seguido de un estudio de integración de fuentes de energía renovables. En el presente estudio se ha abordado, casi exclusivamente para los consumos eléctricos, un caso concreto, no muy diferente de muchos otros de la región. En un plano más general, se podría incluir también el aprovechamiento de la biomasa (en este trabajo sólo insinuado), así como las herramientas de la arquitectura bioclimática a la posible reforma de las instalaciones existentes.

7 Reconocimientos

Los datos del caso analizado han sido facilitados por Bodegas Tempore y en especial por Víctor Yago Aznar. Su interés por la sostenibilidad y su amplitud de miras, al permitir el libre y pleno acceso a la información, han sido cruciales para dotar de fundamentos reales el presente trabajo.

Las orientaciones y sugerencias de José Luis Bernal y Rodolfo Dufo han sido oportunas y certeras.

En el entorno personal, ha sido importante el apoyo recibido de Jesús Yago Loscos y de Lola Mariscal Masot.

La última frase es para dedicar el esfuerzo realizado a la memoria de mis padres, José y Paquita.

8 Referencias

8.1 Publicaciones y artículos

- [1] M. Smyth, J. Russell, 'From graft to bottle'—Analysis of energy use in viticulture and wine production and the potential for solar renewable technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 13, Issue 8, October 2009, Pages 1985-1993.
- [2] E. Gil, Mecanización sostenible en viticultura. 2ª Conferencia Internacional de Vitivinicultura Ecológica, Sostenible y Cambio Climático EcoSostenibleWine 2010.
- [3] Nattapong Tongrod, Adisorn Tuantranont, Teerakiat Kerdcharoen, Adoption of precision agriculture in vineyard. Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, 2009. ECTI-CON 2009.
- [4] J. Rochard, C. Vallet, P. Labbe. Reduction de l'impact sur l'effet de serre par l'eco-conception des caves: contexte et application. 2ª Conferencia Internacional de Vitivinicultura Ecológica, Sostenible y Cambio Climático EcoSostenibleWine 2010.
- [5] S. Guardiola, E. Montins. Aplicaciones de la energía solar en la bodega. 2ª Conferencia Internacional de Vitivinicultura Ecológica, Sostenible y Cambio Climático EcoSostenibleWine 2010.
- [6] Alfonso Aranda Usón, Germán Ferreira, Emisiones de CO₂ generadas durante el cultivo tradicional y ecológico de la vid, 2ª Conferencia Internacional de Vitivinicultura Ecológica, Sostenible y Cambio Climático EcoSostenibleWine 2010.
- [7] J. C. Mann, M. L. Abramczyk, M. R. Andrews, J. A. Rothbart, R. M. Small, R. R. Bailey, Sustainability at Kluge Estate Vineyard and Winery, Systems and Information Engineering Design Symposium (SIEDS), 2010 IEEE.
- [8] Abdelhalim A. Zekry, Mohammed A. Elgendy, Estimated performance of photovoltaic irrigation systems under different operating conditions, Radio Science Conference, 2004. NRSC 2004. Proceedings of the Twenty-First National.
- [9] Fabio Parigi, Tanya Kirilova Gachovska, Jerry Hudgins, Dean Patterson, Wind for irrigation application. Power Electronics and Machines in Wind Applications, 2009. PEMWA 2009. IEEE. 2009.
- [10] Mariano Sanz, José Francisco Sanz, Diego Botero, Marcos Navarro, Francisco J. Val, Julio J. Melero, Jesús Sallán, Andrés Llombart. Optimal integration of renewable energies in a pumping station for irrigation. IECON 02 Industrial Electronics Society, IEEE 2002 28th Annual Conference.
- [11] Análisis y mejora de los costes energéticos y medioambientales de las Pymes del sector vitivinícola. Informes 2000, 2001 y 2002. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE).
- [12] R. García-Valverde, C. Miguel, R. Martínez-Béjar, A. Urbina, Life cycle assessment study of a 4.2 kWp stand-alone photovoltaic system, Solar Energy 83, 2009, pp. 1434–1445.
- [13] M. Watt, A. Johnson, M. Ellis, H. Outhred, Life-cycle air emissions from PV power systems. Progress in Photovoltaics: Research and Applications 6 (2), 1998, pp. 127–136.
- [14] B. Fleck, M. Huot, Comparative life-cycle assessment of a small wind turbine for residential off-grid use, Renewable Energy 34, 2009, pp. 2688–2696.

8.2 Enlaces web

- [1] Bodegas Tempore: www.bodegastempore.com
- [2] Bodegas Regalía de Ollauri: www.bodegasregalia.es
- [3] Bodegas Protos: www.bodegasprotos.com
- [4] Bodegas Emina: www.emina.es
- [5] Bodegas Torres: www.torres.es
- [6] Grupo Matarromera: www.grupomatarromera.com
- [7] Federación Española del Vino (FEV): www.fev.es
- [8] Proyecto Cenit Deméter: www.cenitdemeter.es
- [9] 2ª Conferencia Internacional de Vitivinicultura Ecológica, Sostenible y Cambio Climático EcoSostenibleWine 2010: www.ecososteniblewine.com
- [10] The Amethyst Project: www.amethyst-project.eu
- [11] Turning Wine Green: www.greentechmedia.com/articles/read/turning-wine-green-1242
- [12] Green My Vino: <http://www.facebook.com/apps/application.php?id=10383607900>
- [13] Far Niente: www.farniente.com/WhoWeAre/SustainablePractices.html
- [14] IEEE Xplore Digital Library: www.ieeeexplore.ieee.org
- [15] Sciencedirect: www.sciencedirect.com
- [16] Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos (CIRCE): circe.cps.unizar.es
- [17] Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS): re.jrc.ec.europa.eu/pvgis
- [18] The Satellite Application Facility on Climate Monitoring (CM SAF): www.cmsaf.eu
- [19] NASA Surface meteorology and Solar Energy: eosweb.larc.nasa.gov/sse
- [20] Atlas Eólico de España IDAE: atlaseolico.idae.es
- [21] Hibryd Optimization by Genetic Algorithms (HOGA): www.unizar.es/rdufo/hoga.htm
- [22] Energy Modeling Software for Hybrid Renewable Energy Systems (HOMER): www.homerenergy.com
- [23] National Renewable Energy Laboratory (NREL): www.nrel.gov
- [24] Instituto Nacional de Estadística (INE): www.ine.es