

## La producción vitivinícola como fuente de impactos positivos en el medio seminatural

## Wine production as a source of positive impacts on the semi-natural environment

Javier Carroquino<sup>1,2</sup>, Cristina Escriche<sup>1</sup>, Nieves García-Casarejos<sup>3</sup>, Pilar Gargallo<sup>3</sup>, Andrea Casquete<sup>4</sup>, Mario de la Fuente<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Intergia Energía Sostenible, Zaragoza, Spain

<sup>2</sup> Universidad San Jorge, Zaragoza, Spain

<sup>3</sup> Facultad de economía y Empresa, Universidad de Zaragoza, Spain

<sup>4</sup> Spanish Wine Technology Platform, Madrid, Spain

<sup>5</sup> CEIGRAM- Universidad Politécnica de Madrid, Spain

**Resumen.** El sector del vino está abordando el camino hacia la sostenibilidad, mitigando el cambio climático, adaptándose a él, implantando la economía circular, etc. El proyecto europeo LIFE CLIMAWIN se propone colaborar en este proceso, mostrando técnicas novedosas para convertir el conjunto de viñedo y bodega en un modelo de sostenibilidad. Se ha elegido como demostración un caso de estudio muy significativo situado en la región vinícola de Ribera del Duero (España). El proyecto incluye varias acciones técnicas. Una de ellas relativa al uso y gestión del suelo, incluyendo la producción y uso de biochar, reduciendo las emisiones de N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>. Otra de las acciones técnicas aborda la captura y uso del CO<sub>2</sub> liberado durante la fermentación alcohólica, desplazando la compra de CO<sub>2</sub> y reduciendo el uso de HFC. El agua extraída de un acuífero subterráneo se utiliza para mejorar la eficiencia de la bomba de calor del sistema de refrigeración y climatización, reduciendo la demanda de energía eléctrica. Para evitar los impactos de construir una línea eléctrica en el paraje natural, se ha incorporado una microrred aislada inteligente, basada en generación renovable. Finalmente, se evalúan los impactos sobre el medio ambiente y sobre el empleo y la economía locales.

**Abstract.** The wine sector is tackling the path towards sustainability, mitigating climate change, adapting to it, implementing circular economy practices, etc. The European LIFE CLIMAWIN project aims to collaborate in this process by demonstrating innovative techniques to turn the vineyard and winery into a model of sustainability. A very significant case study located in the Ribera del Duero wine region (Spain) has been chosen as a demonstration hub. The project includes several technical actions. One of them concerns soil use and management, including the production and use of biochar, reducing N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Another technical action addresses the capture and use of CO<sub>2</sub> released during alcoholic fermentation, displacing the purchase of CO<sub>2</sub> and reducing the use of HFCs. Water extracted from an underground aquifer is used to improve the efficiency of the heat pump of the cooling and air-conditioning system, reducing the demand for electricity. To avoid the impacts of building a power line in the natural site, a smart stand-alone microgrid based on renewable generation has been incorporated. Finally, the impacts on the environment and on local employment and the local economy are assessed.

## 1. Introducción

Según los datos facilitados por la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) en su informe *State of the World Vine and Wine Sector in 2023*, el consumo mundial de vino se estima en 221 millones de hectolitros. El mismo informe estima el volumen total de vino exportado en 99 millones de hectolitros y un valor de 36.000 millones de euros. Esto muestra la importancia de la actividad vitivinícola. Sin embargo, el vino corre el riesgo de ser etiquetado como un producto peligroso para la salud, basándose en estudios que se centran en su contenido de alcohol, mientras que múltiples estudios muestran que su consumo moderado es saludable [1,2]. Esta controversia puede derivar en normativas o políticas hostiles que perjudiquen al sector del vino. El presente estudio aborda desde otros aspectos la cuestión de si la actividad vitivinícola merece o no ser protegida. En concreto, a causa de sus impactos en el entorno en que se desarrolla. Esto es especialmente relevante porque las actividades de cultivo de la vid y elaboración de vino se llevan a cabo principalmente en zonas seminaturales e incluso en riesgo de despoblación. En esas áreas es conveniente que las actividades económicas sean respetuosas con el entorno, a la vez que dinamicen la economía y la sociedad rural [3–5]. Con esta finalidad se está llevando a cabo el proyecto europeo LIFE CLIMAWIN, que pretende mostrar que un conjunto de viñedo y bodega gestionados de forma sostenible tienen un impacto positivo en el medioambiente y en la sociedad y economía locales. Para ello, también se van a cuantificar estos impactos.

## 2. Proyecto LIFE CLIMAWIN

CLIMAWIN se enmarca en la convocatoria europea 2022 del Programa LIFE, en la línea de Acción por el Clima, dentro del subprograma de Mitigación y Adaptación del Cambio Climático.



Figura 1. Logotipo del proyecto.

Se lleva a cabo por un consorcio de cinco entidades: el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, la empresa Intergia energía sostenible, la Universidad de Zaragoza, la Plataforma Tecnológica del Vino y la bodega Bosque de Matasnos. La duración total del proyecto es de 42 meses, desde julio de 2023 hasta diciembre de 2026. Este proyecto tiene como antecedente el proyecto LIFE REWIND [6–8].

El proyecto incluye seis paquetes de trabajo (WP), de los cuales tres corresponden a acciones técnicas

demonstrativas (véase Figura 10). El WP2 se centra en el viñedo, con el cambio de uso del terreno y la gestión del suelo. El WP3 se centra en la bodega, actuando sobre la refrigeración y climatización, así como la captura y uso de CO<sub>2</sub>. El WP4 actúa sobre la energía, de forma combinada tanto en bodega como en viñedo. El paquete de trabajo WP5 se ocupa de la medición de impactos y la replicación de los resultados. La gestión (WP1) y la comunicación (WP6) completan el proyecto.

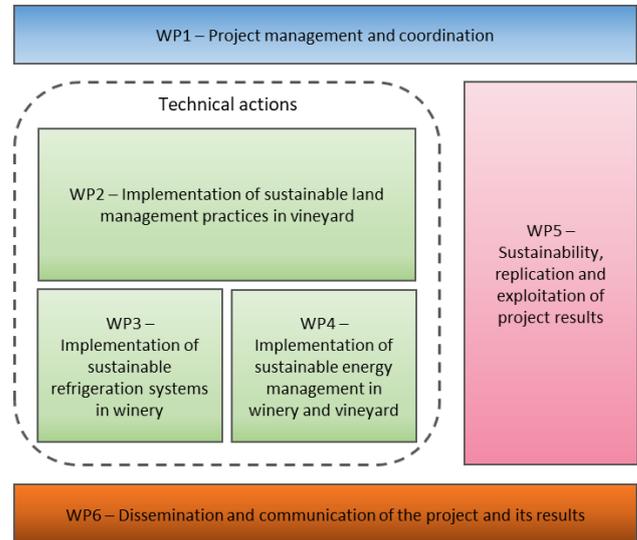


Figura 2. Esquema de paquetes de trabajo del proyecto.

### 2.1. Caso de estudio

Para la demostración se ha escogido el viñedo y bodega de Bosque de Matasnos, en la región vinícola española de Ribera del Duero. Se trata de un emplazamiento con unas características únicas a nivel ecosistémico (Figura 3). Se encuentra en una zona boscosa, que fue parcialmente deforestada a mediados del siglo XX. Los actuales propietarios están respetando y aumentando la superficie arbolada, sustituyendo el cereal por viñedo e introduciendo ganadería extensiva, así como colonias de abejas. En cuanto a la gestión del viñedo, se practica viticultura regenerativa. Esto incluye, entre otras cosas, el uso de cubiertas vegetales autóctonas, compost orgánico de la propia explotación, etc.

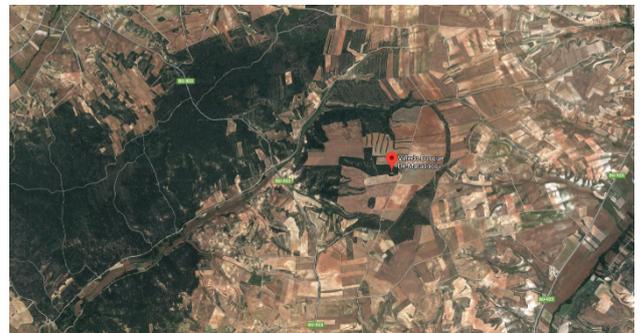


Figura 3. Emplazamiento del caso de estudio.

Es de reseñar que a la zona no llega la red de suministro eléctrico. En lugar de construir una línea eléctrica, lo que causaría impactos ambientales y paisajísticos inaceptables,

se ha optado por generación renovable *in situ*. El agua se obtiene mediante la recogida y acumulación de lluvia, así como mediante extracción del acuífero subterráneo. Después de su utilización, se depura para su reutilización. La ubicación contigua del viñedo y la bodega ha permitido obtener sinergias en la gestión de la energía y el agua. El nexa agua-energía se ha tenido en cuenta en el diseño y la gestión de los sistemas.

Bosque de Matasnos se ha considerado el entorno ideal para acoger las acciones demostrativas del proyecto, convirtiéndolo en un ejemplo de bodega-viñedo sostenible en un ecosistema seminatural. Además, las características climáticas del lugar son semejantes a otras importantes regiones vitivinícolas de Europa, lo que favorece la replicación de las acciones del proyecto.

## 2.2. Uso y gestión del suelo

En 1960, los anteriores propietarios decidieron deforestar parte del terreno (Figura 4 y Figura 5) para dedicar hectáreas a lo que es hoy en día un viñedo viejo y 149 ha de cereal de secano.



Figura 4. Bosque de Matasnos, año 1956.



Figura 5. Bosque de Matasnos, año 1960.

Este ha sido el uso histórico de la tierra agrícola durante los últimos 60 años. Se gestionó hasta 2019 con el sistema tradicional de cultivo de cereales y barbecho, con laboreo intensivo del suelo y uso de herbicidas y pesticidas. Los actuales propietarios están respetando y aumentando la superficie arbolada, sustituyendo el cereal por viñedo e introduciendo ganadería extensiva, así como colonias de abejas para producción de miel. Actualmente, Bosque de Matasnos cuenta con 123,4 hectáreas de bosque, 53,3 ha de cereal y 67 ha de viñedo.

En el viñedo se practica viticultura regenerativa. Esto incluye, entre otras cosas, el uso de cubiertas vegetales autóctonas y el uso de compost orgánico procedente de la propia explotación. Desde 2019, la gestión de las parcelas

de cereales consiste en la rotación de cultivos. El suelo se prepara con laboreo vertical (semichisel), después se prepara el lecho de siembra con un cultivador y se realiza la siembra convencional.

En el proyecto, se estudia el impacto de la utilización de enmiendas ecológicas al suelo del viñedo. Se utilizan dos enmiendas orgánicas: compost y una mezcla de compost con biochar (Figura 6). Éste se producirá a partir de residuos de poda y forestales, recuperando métodos y mano de obra tradicionales.

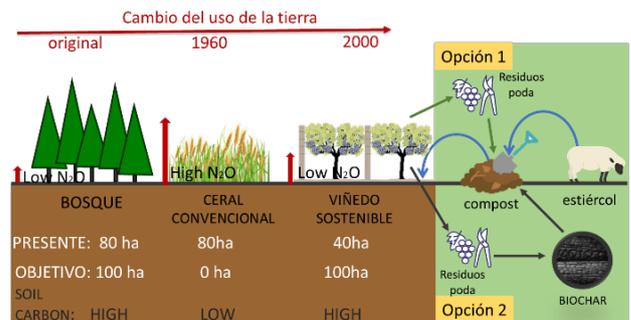


Figura 6. Cambio de uso de la tierra y pruebas con biochar.

El uso de biochar favorecerá el secuestro de carbono a largo plazo en el suelo, reducirá las emisiones de gases distintos del CO<sub>2</sub> procedentes de la gestión del estiércol del ganado y de los suelos y evitará emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de la quema de residuos de poda y residuos forestales. Se espera una reducción de las emisiones de N<sub>2</sub>O y de las de CH<sub>4</sub> derivadas de la gestión del estiércol, así como un aumento del carbono orgánico del suelo a largo plazo [9,10]. Se utiliza una técnica de cámara estática para la recogida de gases (Figura 7).



Figura 7. Cámara estática de recogida de gases.

Respecto al uso del suelo, se pretende demostrar el potencial de mitigación del cambio de uso de cereal a viñedo de gestión ecológica, tomando como referencia el bosque autóctono. Para estudiar el efecto del cambio de uso del suelo en las emisiones de gases de efecto invernadero, se han seleccionado tres parcelas por cada uso del suelo (bosque, cereal y viñedo de gestión ecológica).



**Figura 8.** Toma de muestras de suelo con barrena en suelo.

### 2.3. Refrigeración

La refrigeración en las bodegas es fuente de emisiones de GEI, tanto por su consumo energético como por las fugas de HFC. Ambos se abordan en el proyecto.



**Figura 9.** Intercambiador de calor con agua.

En primer lugar, el agua extraída del acuífero subterráneo (para riego y bodega) se utiliza como foco térmico para intercambio de calor para la bomba de calor del sistema de refrigeración y calefacción. Con ello se consigue aumentar el rendimiento respecto a los sistemas

aerotérmicos, reduciendo la energía eléctrica necesaria. La Figura 9 muestra el intercambiador de calor, ya instalado.

En segundo lugar, mediante la captura del CO<sub>2</sub> liberado durante la fermentación alcohólica y su utilización, se obtienen dos efectos. Por una parte, se desplaza la compra de CO<sub>2</sub> para uso en bodega. Por otra, su uso en algunos procesos de refrigeración se reduce el uso de HFC y, por tanto, sus emisiones de GEI asociadas.

### 2.4. Gestión de la energía

Dentro de la huella de carbono de las actividades vitivinícolas, las emisiones derivadas de la energía suelen ser la segunda fuente, después de los envases y embalajes. Esto se debe al uso de combustibles fósiles y la adquisición de electricidad proveniente de la red eléctrica. Por lo tanto, el proyecto ha abordado su reducción. Para ello se han combinado varias estrategias. En primer lugar, se han empleado criterios de eficiencia energética tanto en el dimensionado como en la gestión de los sistemas, reduciendo la demanda de energía. En segundo lugar, se ha buscado maximizar la utilización de energía renovable [11,12]. En tercer lugar, se han estudiado y aprovechado las sinergias derivadas de integrar la gestión energética de bodega y viñedo.

Como ya se ha indicado, al paraje donde se ubican la bodega y el viñedo del caso de estudio no llega la red de distribución eléctrica. La construcción de una línea eléctrica se descartó desde un primer momento, tanto por los graves impactos medioambientales y paisajísticos de estas líneas como por su elevadísimo coste y las servidumbres asociadas. Esta situación se plantea muy frecuentemente en los bombeos para riego de viñedo. También en casos en que se va a ubicar una bodega en el medio seminatural.

Los diversos consumos eléctricos, de la bodega, del viñedo y del resto de instalaciones de la propiedad, se encuentran dispersos a distancias de alrededor de un kilómetro. Esto, que con un suministro convencional de la red no sería un problema, con generación aislada se suele abordar mediante diferentes puntos de generación, cada uno junto a los consumos que ha de alimentar. Sin embargo, esta solución convencional no permite optimizar el dimensionado energético. Esto significa que ni el coste de inversión, ni el de operación, ni las emisiones asociadas al conjunto energético serían minimizadas. Para resolver esto, la solución adoptada es una microrred autónoma, que integra todos los puntos de consumo. A esta microrred se le ha dotado de generación y acumulación distribuida, así como de un sistema avanzado de gestión inteligente de las cargas diferibles, de la generación gestionable y de la acumulación eléctrica.



Figura 10. Mapa con elementos de la microrred eléctrica.

En todo sistema eléctrico aislado (no conectado a la red de distribución eléctrica), un elemento del mismo debe crear la red. Generalmente, de esto se encarga un generador rotativo convencional, por ejemplo, un grupo diésel. Sin embargo, dado que en nuestro caso se desea que la microrred esté basada en generación renovable, para la creación de la red se utiliza un sistema de almacenamiento eléctrico en baterías, con la electrónica correspondiente (Figura 11).



Figura 11. Sala de inversores y baterías, con formación de red.

La estabilidad de la microrred requiere el mantenimiento de sus parámetros de frecuencia y tensión en los diferentes elementos a ella conectados. Dada la extensión de la microrred de bodega y viñedo, con flujos de potencia variables de todos los elementos de sistema, mantener la estabilidad de todo el conjunto es una cuestión compleja. Para resolverlo, se introduce una topología de microrred multi-área con la presencia de un coordinador centralizado (Figura 12).

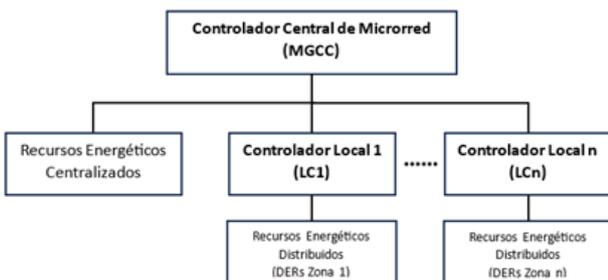


Figura 12. Tipología de la microrred.

En este sistema, el controlador central de microrred gestiona la obtención de predicciones generales del sistema y de los elementos sujetos al nodo de equilibrio, aportándoselas a los agentes suscritos a las mismas. Así mismo implementa el coordinador que gestiona los eventos de optimización de los agentes de cada zona. Los controladores locales implementan diferentes algoritmos de control y gestionan las predicciones propias de los elementos de su área.

Para la casuística del sistema estudiado, donde los controladores locales pueden gestionar una combinación de almacenamiento energético en batería, generación fotovoltaica y consumos, el problema de optimización puede modelarse mediante programación lineal con enteros mixtos (MILP).

La microrred así instalada va a permitir la conexión de múltiples elementos consumidores, generadores y acumuladores de energía en las diferentes ubicaciones de bodega, viñedo (riego), instalaciones ganaderas e incluso enoturismo.

## 2.5. Impactos

Más allá de las acciones técnicas ya mencionadas en la gestión sostenible de Bosque de Matasnos (suelo, agua y energía) se incorpora un estudio de los impactos derivados del proyecto CLIMAWIN sobre el medio ambiente y las comunidades locales. Para ello, se llevará a cabo un proceso sistemático y participativo de identificación y consulta con las partes interesadas relevantes.

Los impactos socioeconómicos esperados del proyecto son: creación de empleo cualificado y de empresas de servicios de alto valor para las bodegas en la zona; potenciación del enoturismo y ecoturismo; potenciación del perfil y la imagen de la bodega; mejora de la calidad de vida vinculada a la mayor sostenibilidad de las actividades de la bodega; preservación y restauración de viñedos y bosques; y difusión de las mejoras al “ecosistema” de proveedores, clientes y a otras bodegas de la zona.

Por último, para garantizar que los resultados del proyecto puedan replicarse en otros contextos y así asegurar la continuidad de los efectos positivos del mismo después de su finalización, se desarrollará un "Plan After-LIFE". Este plan promoverá también la adopción de prácticas de economía circular en las bodegas, fomentando la reutilización, el reciclaje y la reducción de residuos en el proceso vitivinícola. Además, el plan incluirá la comercialización de los prototipos desarrollados a través de un producto mínimo viable, permitiendo su introducción en el mercado y facilitando la adopción de estas innovaciones en el sector. Este enfoque permitirá extender la vida útil de los recursos y mejorar la sostenibilidad económica y ambiental de las bodegas a largo plazo.

## 3. Conclusiones

El proyecto CLIMAWIN pretende mostrar que un conjunto de viñedo y bodega en un área seminatural puede convertirse en un modelo de explotación agroindustrial

sostenible. Son varias las demostraciones que se están implementando y cuyos impactos se están midiendo en el proyecto.

En cuanto a la sostenibilidad ambiental, en primer lugar, el uso del suelo para el cultivo de la vid puede resultar en mejor abatimiento de carbono que otros cultivos, como el cereal. En segundo lugar, las técnicas de agricultura regenerativa combinadas con la ganadería extensiva y la producción y uso de biochar pueden reducir las emisiones de GEI. En tercer lugar, un enfoque del nexo agua energía en el conjunto de bodega y viñedo puede reducir los costes de refrigeración. En cuarto lugar, la captura de CO<sub>2</sub> puede reducir el uso de HFC y, por tanto, sus emisiones de GEI asociadas. En quinto lugar, la implantación de microrred eléctrica avanzada y su gestión inteligente en el conjunto de viñedo y bodega puede reducir la demanda energética y sus emisiones asociadas.

Adicionalmente, se muestra la viabilidad técnica, económica y ambiental de producir *in situ* toda la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento del conjunto de bodega y viñedo.

#### 4. Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa LIFE de la Comisión Europea su apoyo financiero al proyecto (Id: 101113948-LIFE22-CCM-ES-CLIMAWIN). Presupuesto total: 994.195 € Financiación EU: 596.517 € (60%).

Los autores también agradecen su colaboración a las entidades y personas participantes en el proyecto.

#### 5. Referencias

1. M. A. Martínez-González, *Am. J. Clin. Nutr.* 119, 262 (2024).
2. M. Lombardo, A. Feraco, E. Camajani, M. Caprio, and A. Armani, *Nutrients* 15, 1921 (2023).
3. I. Zambon, A. Colantoni, M. Cecchini, and E. M. Mosconi, *Sustain.* 10, (2018).
4. B. Torquati, G. Giacchè, and S. Venanzi, *J. Rural Stud.* 39, 122 (2015).
5. M. Pintar, A. Udovč, M. Č. Istenič, M. Glavan, and I. P. Slaviče, *Innov. Eur. Rural Landscapes* 37 (2010).
6. J. Carroquino, J. L. Bernal-Agustín, and R. Dufo-López, *Sustainability* 11, 951 (2019).
7. J. Carroquino, N. García-Casarejos, P. Gargallo, F.-J. García-Ramos, and J. Yago, *BIO Web Conf.* 9, 01005 (2017).
8. J. L. Bernal-Agustín, R. Dufo-López, J. Carroquino-Oñate, J. S. Artal-Sevil, J. A. Domínguez-Navarro, Á. A. Bayod-Rújula, and J. Yago-Loscos, *Renew. Energy Power Qual. J.* 1, 774 (2017).
9. M. Sánchez-García, M. A. Sánchez-Monedero, A. Roig, I. López-Cano, B. Moreno, E. Benítez, and M. L. Cayuela, 408, 1 (2016).
10. R. Castejón-del Pino, M. A. Sánchez-Monedero, M. Sánchez-García, and M. L. Cayuela, *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 1 (2023).
11. J. Carroquino, N. García-Casarejos, and P. Gargallo, *Wine Stud.* 6, 5 (2017).
12. J. Carroquino, R. Dufo-López, and J. L. Bernal-Agustín, *Appl. Mech. Mater.* 330, 198 (2013).