stiv

Aprovechando la inteligencia artificial para gestionar una transición sostenible en la viticultura "STIV"

MÓDULO 3: Transición verde y energética en la viticultura

Este módulo explora estrategias clave de sostenibilidad en viticultura, desde la gestión regenerativa del suelo y la eficiencia hídrica, hasta la conservación de la biodiversidad y el uso responsable de la energía. Se analizan tecnologías innovadoras y prácticas agroecológicas que reducen la huella ambiental y aumentan la resiliencia de los viñedos frente al cambio climático. El objetivo es comprender cómo las prácticas verdes se convierten en un pilar esencial para una viticultura competitiva y sostenible alineada con el Pacto Verde Europeo.

Aviso legal

Cofinanciado por la Unión Europea. Sin embargo, las opiniones expresadas son únicamente de los autores y no reflejan necesariamente las de la Unión Europea ni de la Agencia Ejecutiva Europea de Educación y Cultura (EACEA). Ni la Unión Europea ni la EACEA pueden ser responsables de ellos.

Fecha: 20/02/2026

El consorcio STIV

université de BORDEAUX · CROPT · FONDAZIONE COMUNITARIA DI AGRIGENTO E TRAPANI · ESCUELA DE VITICULTURA Y ENOLOGÍA FÉLIX JIMÉNEZ DE REQUENA · LaUNIÓ Llauradora i Ramadera

Co-funded by the European Union

Erasmus+
Enriqueciendo vidas, abriendo mentes.

Contenido

1. Prácticas verdes en la viticultura: fundamentos y estrategias 3

1.1. Gestión sostenible del suelo en la viticultura 3

1.2. Eficiencia en el uso del agua y tecnologías de riego en la viticultura sostenible 6

1.3. Gestión de la biodiversidad en el viñedo 10

1.4. Uso sostenible de la energía en viñedos 14

1.4. Valoración de los residuos de poda y la biomasa de viñedos 19

2. Transición energética en la industria vinícola 24

2.1. Integración de energías renovables en la industria del vino 24

2.2. Planificación e implementación de sistemas energéticos en bodegas 29

2.3. Estrategias para reducir la huella de carbono en la producción de vino 32

2.4. Herramientas digitales para el monitoreo de la huella de carbono y el consumo energético 35

2.5. Cooperativismo energético en comunidades vitivinícolas 37

3. Estudios de caso sobre viticultura sostenible 44

3.1. Historias de éxito en transición energética y viticultura sostenible 44

3.2. Análisis comparativo de modelos sostenibles en viticultura 46

3.3. Impacto económico y medioambiental de la transición energética en las bodegas 49

Referencias 52

Anexo I – Revisión de Cuestiones 57

Anexo II – Actividad Didáctica: "Diseñar un viñedo sostenible" 59

1. Prácticas verdes en la viticultura: fundamentos y estrategias

La transición hacia la viticultura sostenible requiere una visión integral que abarque todos los componentes del ecosistema productivo. El viñedo, como agroecosistema, depende de la salud del suelo, el uso eficiente del agua, la conservación de la biodiversidad y una gestión responsable de la energía. Estos cuatro pilares interconectados permiten reducir el impacto medioambiental de la elaboración de vino, aumentar la resiliencia al cambio climático y garantizar la calidad del vino a largo plazo.

1.1. Gestión sostenible del suelo en la viticultura

La gestión sostenible del suelo es uno de los pilares fundamentales en la transición ecológica de la viticultura. El suelo no es solo el soporte físico de la vid, sino también un ecosistema vivo que regula la fertilidad, el ciclo del agua, la biodiversidad microbiana y la resiliencia del cultivo ante los impactos del cambio climático (Bavaresco et al., 2016). En este contexto, las prácticas convencionales basadas en la labranza intensiva, el uso excesivo de fertilizantes químicos y herbicidas sintéticos han demostrado efectos negativos como la compactación del suelo, la pérdida de materia orgánica y la disminución de la biodiversidad (Morlat & Symoneaux, 2008). Ante este escenario, es necesario implementar estrategias regenerativas y sostenibles que optimicen la salud del suelo y fortalezcan los ecosistemas vinícolas.



Importancia de la salud del suelo en la viticultura

El suelo actúa como un reservorio de nutrientes y agua, regula el intercambio de gases y alberga microorganismos esenciales para la mineralización y la disponibilidad de nutrientes (Tautges et al., 2019). Estudios recientes han demostrado que la degradación del suelo en las regiones vinícolas, causada por el sobrelaboreo y la pérdida de materia orgánica, reduce la capacidad del suelo para retener agua, aumentando la vulnerabilidad de los viñedos a la sequía (Van Leeuwen et al., 2019).

Además, su estructura física influye directamente en el vigor de la vid, la calidad de las uvas y, en consecuencia, el perfil sensorial del vino (Bordelon et al., 2020).

Cubiertas verdes: una práctica esencial

La implantación de coberturas vegetales en el viñedo es una de las estrategias más eficaces para mejorar la salud del suelo. Las cubiertas permanentes o temporales reducen la erosión hídrica, mejoran la infiltración de agua y contribuyen a la fijación del carbono, mitigando el cambio climático (Celette et al., 2008). También promueven el aumento de la materia orgánica y la actividad microbiana, elementos clave para la fertilidad del suelo (Abad et al., 2021).

Por ejemplo, en viñedos mediterráneos, la plantación de especies leguminosas (trébol, veza) como cobertura verde ha mostrado aumentos significativos en el contenido de nitrógeno disponible, reduciendo la dependencia de fertilizantes sintéticos (Ruiz-Colmenero et al., 2013). Además, las cubiertas favorecen la biodiversidad funcional, ofreciendo hábitats para insectos auxiliares que contribuyen al control biológico de plagas (García et al., 2018).



Figura 1. Cobertura vegetal en el viñedo. *Fuente: La Rioja Alta*

Reducción de labranza y minima intervención

La labranza intensiva provoca la ruptura de los agregados del suelo, la pérdida de porosidad y la disminución de materia orgánica, acelerando los procesos de erosión (Prosdocimi et al., 2016). En contraste, las prácticas de reducción o sin labranza se

han consolidado como alternativas sostenibles que preservan la estructura del suelo, mejoran la infiltración y reducen la pérdida de carbono (Novara et al., 2019).

Un estudio en viñedos del Alto Monferrato (Italia) mostró que la combinación de la cobertura vegetal con la reducción de laboreo disminuyó significativamente el escorrentía y la erosión del suelo, así como mejoró la estabilidad e infiltración de los agregados en comparación con suelos desnudos (Biddoccu et al., 2016). Curiosamente, revisiones recientes destacan que el uso de coberturas herbáceas en viñedos puede reducir las pérdidas de suelo entre un 30% y un 70%, dependiendo de la especie utilizada y las condiciones climáticas (Abad et al., 2021; SARE, 2022). Asimismo, el trabajo de síntesis en Europa ha confirmado que la labranza mínima no solo contribuye a preservar la estructura del suelo, sino que también reduce el consumo de energía y las emisiones derivadas del uso de maquinaria agrícola (López-Vicente et al., 2020).

Aumento de materia orgánica y uso de biofertilizantes

La incorporación de compost y biofertilizantes es una herramienta clave para la regeneración de suelos degradados. La incorporación de residuos de vino como orujo y lías en el compostaje puede mejorar las propiedades del compost, como la estructura física y la humedad, contribuyendo al reciclaje de nutrientes en el viñedo (Arqueros et al., 2023). La materia orgánica del suelo también se asocia con una mayor capacidad de intercambio catiónico, mejor retención de agua en el campo y promoción de la microbiota beneficiosa (Ismail, 2025; Lal, 2020; Ankenbauer & Loheide, 2016)

Diversos estudios han demostrado que la incorporación de compost de residuos de bodega mejora la materia orgánica del suelo, aumenta su capacidad de retención de agua y estimula la actividad microbiana beneficiosa, favoreciendo así la fertilidad y resiliencia del agroecosistema (Lucchetta et al., 2025; Moral et al., 2016). Aunque los efectos cuantitativos varían según la región, el tipo de compost y la frecuencia de aplicación, la evidencia apunta a aumentos significativos en el carbono orgánico y en la biomasa microbiana del suelo tras varias campañas de aplicación.



Figura 2. Uso de bagazo de vino como biofertilizantes.

Prácticas para mejorar la retención de agua

En un contexto de fenómenos meteorológicos extremos y una menor disponibilidad de agua, es esencial aumentar la capacidad del suelo para retener agua. El uso de cubiertas vegetales en viñedos mejora la estructura del suelo, aumenta su porosidad y favorece una mejor infiltración y retención de agua (Morlat & Jacquet, 2003). Asimismo, la aplicación de mantillo orgánico —como paja o restos vegetales— ayuda a conservar la humedad superficial al reducir la evaporación y mejorar la capacidad del agua disponible, especialmente en ecosistemas agrícolas mediterráneos semidesérticos (Hueso-González et al., 2016; Wikipedia, s.f.).

Ejemplos y certificaciones

Numerosas bodegas han implementado estas prácticas bajo certificaciones como **"Viticultura Sostenible"** (California) o **"HVE – Haute Valeur Environnementale"** (Francia), que promueven estrategias de gestión sostenible del suelo. En España, proyectos como **"Viñas Vivas"** han demostrado reducciones del 40% en el uso de herbicidas gracias a la implementación de cobertura vegetal y biofertilización (MAPA, 2022).

1.2. Eficiencia en el uso del agua y tecnologías de riego en la viticultura sostenible

El agua es uno de los recursos más limitantes en la viticultura, especialmente en las regiones mediterráneas donde las precipitaciones son irregulares y las olas de calor se vuelven más frecuentes debido al cambio climático (Ollas et al., 2019). En este contexto, la eficiencia en el uso del agua no solo representa un requisito agronómico, sino también una obligación ética y regulatoria para garantizar la sostenibilidad del viñedo (Jones et al., 2010). La gestión eficiente del agua implica aplicar agua en la cantidad adecuada, en el momento adecuado y en la zona adecuada, evitando pérdidas debidas a la evaporación, percolación profunda o escorrentía (Allen et al., 1998).



Figura 3. Sistema de riego por goteo. *Fuente: Lena Ti*

Importancia de la gestión sostenible del agua

La vid es una planta considerada moderadamente tolerante a la sequía, pero el estrés hídrico severo durante etapas como la floración y la puesta de frutos puede reducir severamente el rendimiento y la calidad del fruto (Medrano et al., 2015). Sin embargo, se ha demostrado que el déficit hídrico controlado mejora parámetros como la concentración de antocianina y la intensidad del color en el vino (Intrigliolo & Castel, 2011). Además, la adopción de sistemas de riego inteligentes que combinan técnicas como el riego deficitario regulado (IDR), sensores, modelización y tecnologías remotas está ganando terreno en áreas con recursos hídricos limitados, mejorando la gestión y la eficiencia del uso del agua (Mirás-Avalos et al., 2021).

Tecnologías clave para la eficiencia del agua

a) Riego por goteo y subterráneo

El riego por goteo es la técnica más extendida en la viticultura moderna debido a su alta eficiencia para llevar agua directamente a la zona radicular y minimizar las

pérdidas por evaporación, percolación y escorrentía. En países como España, especialmente en zonas con poca precipitación como Castilla La Mancha, el riego goteo es ampliamente adoptado. Además, el riego subterráneo (SDI) o variantes como el riego directo en zonas radiculares están demostrando mejoras adicionales en la eficiencia y el rendimiento del agua; por ejemplo, el estudio "Optimización de la gestión del agua en viñedos: desafíos, estrategias y perspectivas" realizado en 2021 reportó aumentos del 9–12% en la producción y del 9–11% en la eficiencia del agua en comparación con el riego superficial

b) Sensores de humedad y potencial hídrico

La incorporación de sensores de humedad del suelo, como la reflectometría tensiométrica, capacitiva o de dominio temporal (TDR), nos permite conocer el contenido volumétrico del agua en tiempo real y mejorar la programación del riego en cultivos. Estudios recientes destacan que la integración de estas herramientas en modelos de balance hídrico ayuda a optimizar el uso del agua, evitando excesos y reduciendo las pérdidas debidas a la percolación o escorrentía (Jones, 2004).

Además, tecnologías fisiológicas como los sensores de caudal de savia proporcionan información directa sobre la demanda de agua de la planta. Estos sistemas permiten la detección temprana de situaciones de estrés antes de que se produzcan reducciones en la fotosíntesis o el rendimiento, ofreciendo una base más precisa para la toma de decisiones en la gestión del riego (Kumar, 2022; Jones, 2004).



Figura 4. Sensor de flujo de savia. Fuente: Agronic

c) Modelos de Balance Hídrico y DSS

El uso de modelos como el FAO-56 constituye la base para estimar la evapotranspiración de viñedos, integrando parámetros climáticos (ET_0), coeficientes de cultivo y factores de estrés hídrico (Allen et al., 1998). Modelos avanzados como AquaCrop han demostrado su utilidad en la viticultura: en viñedos de mesa en México, el modelo recomendaba volúmenes de riego aproximadamente un 50% menores que los tradicionalmente aplicados por los agricultores, lo que resultó en una mejora cercana al 45% en la productividad del agua (Er-Raki, 2024).

De forma complementaria, herramientas de balance hídrico como SIMDualKc, basadas en el coeficiente de doble cultivo, han hecho posible estimar con precisión la evapotranspiración en viñedos de secano combinando datos climáticos con información sobre el balance hídrico en el suelo, mostrando un alto grado de ajuste con observaciones reales (Almeida et al., 2024).

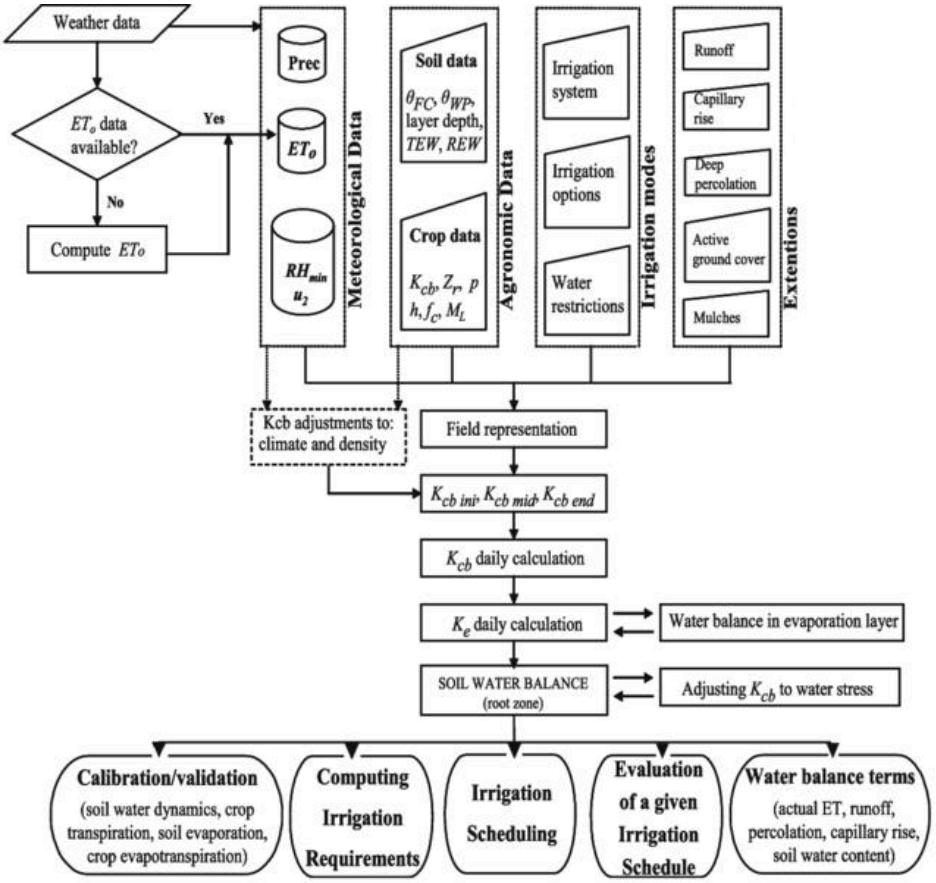

Figura 5. Diagrama de flujo del modelo SIMDualKc Fuente: Paço et al. 2011

d) Riego de Precisión con Tecnología IoT

El Internet de las Cosas (IoT) ha revolucionado la gestión del riego en la viticultura mediante plataformas digitales que integran sensores de humedad, estaciones meteorológicas y válvulas automáticas. Un ejemplo es CropX, que permite activar la gestión del riego desde una aplicación móvil y las válvulas de forma remota gracias a la integración con controladores de riego (CropX, 2023a; CropX, 2023b). En regiones con conectividad limitada, los protocolos de red de bajo consumo como LoRaWAN y NB-IoT son esenciales, ofreciendo un largo alcance, bajo consumo energético y transmisión fiable en entornos rurales (Promwad, 2025; Singh et al., 2020; Semtech, 2025).

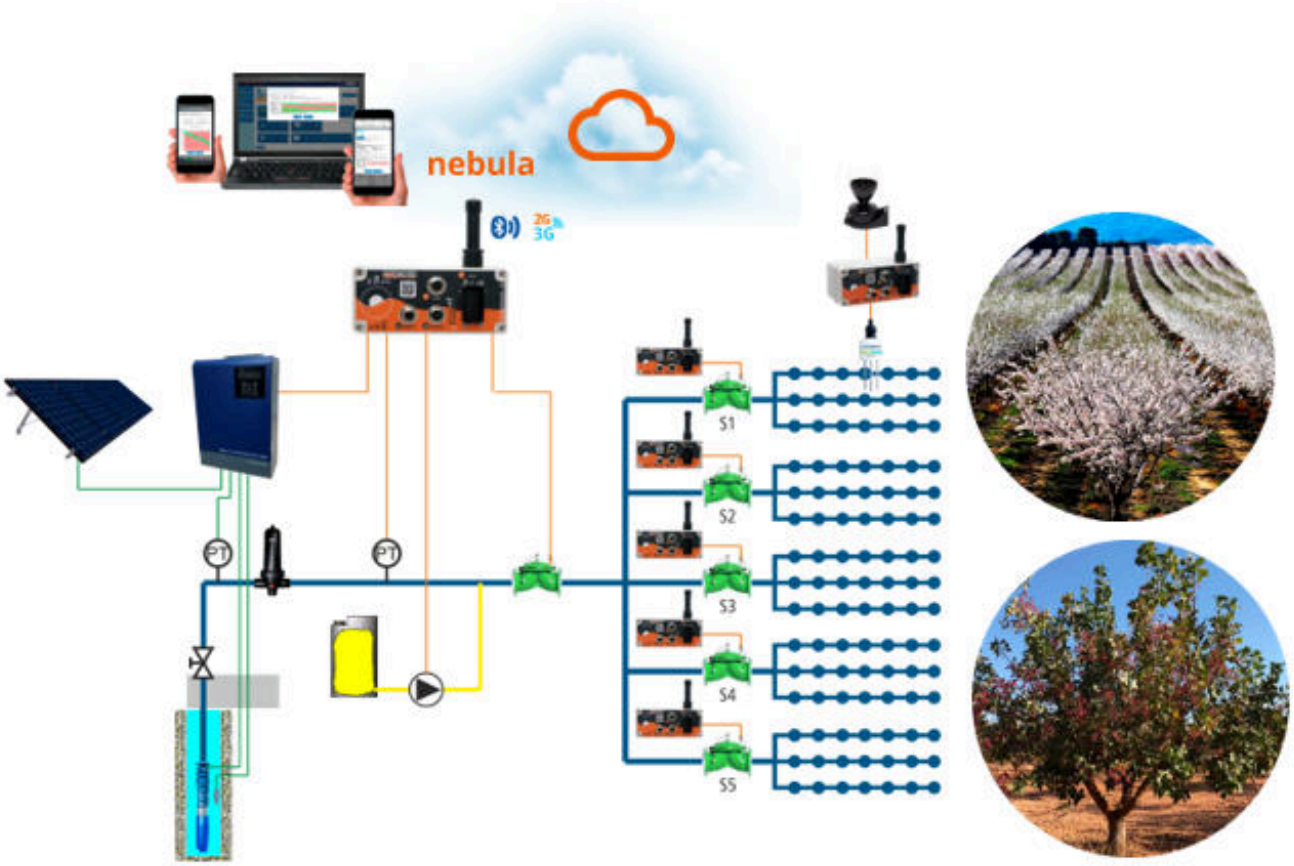

Figura 6. Riego de precisión con IoT. *Fuente: Orionis Smart Water Network*

Estrategias agronómicas complementarias

Además del riego inteligente, la gestión del suelo es clave para la conservación del agua del viñedo. Las cubiertas vegetales ayudan a reducir la evaporación, aumentar la infiltración y mejorar la disponibilidad de agua en el perfil del suelo (Celette, Gaudin y Gary, 2008). Del mismo modo, la selección de portainjertos resistentes a la sequía es una estrategia eficaz para aumentar la resiliencia del viñedo ante la escasez de agua (Gambetta, Herrera, Dayer, Hochberg y Castellarin, 2020).

Beneficios probados y retorno económico

El ahorro de agua en los viñedos no solo reduce los costes directos, sino que también contribuye a la sostenibilidad energética, dado que el riego mecanizado y el bombeo son grandes consumidores de energía (GESTI, 2025). Además, hay evidencia de que implementar sistemas de riego inteligentes, como la monitorización continua y la automatización, puede reducir significativamente el consumo de agua y energía, con ahorros reportados de entre el 20% y el 50% dependiendo del cultivo (FreshPlaza, 2022).

Por otro lado, como se mencionó antes, el control del estrés hídrico tiene efectos positivos en la calidad del vino, al mejorar la concentración de componentes fenólicos y la complejidad aromática que caracterizan a los vinos de alta gama (Van Leeuwen & Darriet, 2016).

Ejemplos de implementación

- **California:** E&J Gallo reportó ahorros en el consumo de agua tras implementar sensores de humedad y DSS vinculados al riego por goteo (Gallo Winery, 2021).
- **Australia:** Proyectos piloto con **IoT y telemetría** lograron reducir el consumo de agua en 1.000 m³/ha sin comprometer la producción, combinando balance hídrico y riego deficitario controlado (SmartAqua Project, 2020).
- **España (Ribera del Duero):** El sistema **WANUGRAPE 4.0** integró mapas NDVI, sensores de suelo y riego automatizado, logrando un ahorro de agua del 30% y una reducción del 20% en costes energéticos (WANUGRAPE, 2023).

1.3. Gestión de la biodiversidad en el viñedo

La biodiversidad es un pilar fundamental en los sistemas vinícolas sostenibles. Mantener una alta diversidad biológica en el viñedo no solo contribuye a la salud del ecosistema, sino que también mejora la resiliencia frente a plagas, enfermedades y fenómenos meteorológicos extremos (Altieri & Nicholls, 2017). La biodiversidad funcional favorece el equilibrio ecológico, reduce la dependencia de los agroquímicos y promueve servicios ecosistémicos esenciales como la polinización, el control biológico y la mejora de la fertilidad del suelo (Bàrberi et al., 2010).



Figura 7. Prevención de plagas mediante el uso de mariquitas en las enredaderas. Fuente: Familia Torres, 2020

Importancia de la biodiversidad en la viticultura

Los monocultivos intensivos en viticultura han llevado a la simplificación de los agroecosistemas, reduciendo la biodiversidad y aumentando la vulnerabilidad del viñedo a plagas y enfermedades (Altieri & Nicholls, 2002). Por el contrario, la adopción de estrategias de diversificación estructural, como la incorporación de árboles, setos o cubiertas verdes, contribuye a reducir la incidencia de plagas, disminuir el uso de

agroquímicos y promover la prestación de servicios ecosistémicos clave (Favor et al., 2023).

Estrategias para aumentar la biodiversidad

a) Cubiertas vegetales

Las cubiertas verdes permanentes o temporales son una práctica clave para promover la biodiversidad. Estas especies herbáceas, implantadas entre las hileras, aumentan la diversidad florística, albergan enemigos naturales de plagas y mejoran la estructura del suelo (Celette et al., 2009). Además, contribuyen a reducir la erosión, aumentar la infiltración de agua y mejorar la fertilidad orgánica. Por ejemplo, estudios en viñedos de Languedoc-Rosellón mostraron que la presencia de cubiertas de gramíneas y leguminosas redujo la población de trips y ácaros en un 30% en comparación con suelos desnudos (Ripoche et al., 2011).

b) Corredor ecológico y setos

El establecimiento de setos perimetrales y corredores verdes conecta el viñedo con hábitats naturales, creando refugios para aves, polinizadores y artrópodos beneficiosos (Bàrberi et al., 2010). En la Toscana, la incorporación de setos de especies autóctonas en viñedos orgánicos aumentó la presencia de parasitoides naturales de Lobesia botrana, reduciendo el uso de insecticidas (Gurr et al., 2017).

c) Integración de policulturas y áreas de refugio

La combinación de viñedos con olivares, huertos o pequeños parches de vegetación natural genera un mosaico agroecológico que realza la biodiversidad. Esta estrategia, conocida como viticultura integrada, es promovida por la OIV (Organización Internacional de Vides y Vinos) como modelo de transición hacia sistemas resilientes (OIV, 2020).

d) Conservación de la fauna auxiliar

Especies como criso-de-pele, mariquitas y arañas son depredadoras naturales que ayudan a controlar las plagas. Reducir el uso de insecticidas de amplio espectro y promover refugios para estos organismos es esencial para mantener estable su población (García et al., 2018). En Burdeos, la implantación de cajas nido para aves insectívoras redujo la presión de la polilla en racimo (Lobesia botrana) en un 50% en los viñedos ecológicos (Maison & Filaine, 2021).

Beneficios de la biodiversidad en el viñedo

1. **Control biológico natural:** Menor dependencia de los productos de protección vegetal.
2. **Mejora de la salud del suelo:** Mayor capacidad de retención de materia orgánica y agua.
3. **Reducción de la erosión:** Las cubiertas del suelo protegen contra la pérdida de suelo por escorrentía.

4. **Resiliencia climática:** Los viñedos biodiversos son más capaces de soportar olas de calor y sequías (Altieri & Nicholls, 2017).
5. **Valor añadido y marketing:** Certificaciones como *la Biodiversity & Wine* Initiative o etiquetas de viticultura regenerativa son valoradas por los consumidores (Stolz et al., 2011).



Figura 8. Certificados de vino ecológico. *Fuente: fragmentado*

Desafíos en la implementación

La incorporación de medidas para promover la biodiversidad en el viñedo representa una estrategia clave hacia una viticultura más sostenible y resiliente. Sin embargo, su implementación no está exenta de dificultades. Los desafíos abarcan tanto aspectos económicos y técnicos, así como sociales y culturales, reflejando la complejidad de integrar criterios ecológicos en un sector tradicionalmente orientado a la producción y calidad enológica. Estos factores se ven agravados por la incertidumbre climática, la falta de estructuras de apoyo adecuadas y las limitaciones del mercado, que pueden ralentizar la adopción generalizada de estas prácticas.

Identificar y comprender estos retos es esencial para ofrecer soluciones adaptadas a cada territorio vinícola.

- **Alto coste inicial:** La instalación de setos, franjas florales o cubiertas verdes implica una inversión económica significativa, tanto en materiales como en mano de obra. Además, los beneficios ecológicos y productivos derivados de estas medidas suelen manifestarse a medio o largo plazo, lo que puede generar reticencia en viticultores que trabajan con márgenes ajustados o que buscan retornos rápidos. En muchos casos, la falta de acceso a incentivos económicos o programas de apoyo agrava este obstáculo.

- **Conflictos agronómicos:** La introducción de cobertura vegetal puede competir con la vid por agua y nutrientes, especialmente en regiones con climas secos o en suelos menos fértiles. Una mala selección de especies o una gestión inadecuada (por ejemplo, no cortar a tiempo o no ajustar las densidades) puede aumentar la presión sobre el viñedo, reducir el rendimiento o incluso favorecer la aparición de plagas y enfermedades. Esto requiere un manejo técnico cuidadoso y una planificación adaptada a cada parcela.

- **Falta de conocimientos técnicos:** La implementación exitosa de prácticas de promoción de la biodiversidad requiere formación en agroecología, ecología funcional y técnicas integradas de manejo de plagas y suelos. Muchos trabajadores y responsables de campo carecen de la formación necesaria, lo que aumenta el riesgo de errores en la planificación y mantenimiento de estas medidas. La falta de asesores especializados en viticultura también limita el acceso a una orientación práctica y personalizada.

- **Aceptación social y cultural:** En las regiones vinícolas tradicionales, puede haber resistencia a modificar prácticas que se han mantenido durante generaciones. La percepción de que un viñedo "con hierbas" o con "zonas sin cultivar" está mal mantenido puede generar tensiones dentro de la comunidad local, dificultando la adopción de enfoques más biodiversos.

- **Restricciones regulatorias y de certificación:** Aunque las políticas agrícolas de la Unión Europea u otros marcos regulatorios ofrecen incentivos para prácticas sostenibles, la burocracia asociada y la falta de claridad en los requisitos pueden desincentivar a los productores. Además, algunos esquemas de certificación pueden no reconocer adecuadamente los beneficios de estas medidas, lo que reduce la motivación para adoptarlas.

- **Monitorización y evaluación complejas:** Medir el impacto real de las medidas de gestión de la biodiversidad en el viñedo no es sencillo. Requiere herramientas de monitorización, indicadores de biodiversidad y, en muchos casos, colaboración con instituciones de investigación. Sin esta supervisión, es difícil justificar los costes y esfuerzos invertidos o comunicar los beneficios a los consumidores y organismos reguladores.

- **Riesgos climáticos y variabilidad interanual:** Factores como sequías prolongadas, lluvias intensas o cambios repentinos de temperatura pueden

dificultar la implantación y mantenimiento de setos o tejados. En los escenarios de cambio climático, estas incertidumbres aumentan, lo que genera dudas sobre la viabilidad a largo plazo de ciertas medidas.

- **Mercado y demanda limitada:** Aunque cada vez más consumidores valoran la sostenibilidad y el respeto por la biodiversidad, no siempre están dispuestos a pagar un precio elevado por vinos producidos bajo estos principios. Esta desconexión entre el esfuerzo productivo y el reconocimiento en el mercado puede desalentar la inversión inicial.

Ejemplos de implementación exitosa

A pesar de los desafíos que puede presentar en diversas comunidades, el potencial de la gestión de la biodiversidad en los viñedos se demuestra en varias historias de éxito a nivel internacional:

- **Francia (Champagne)** La introducción sistemática de coberturas vegetales, setos y corredores verdes en la región de Champagne llevó a una reducción del 40% en el uso de herbicidas durante un periodo de 5 años (Comité Champagne, 2022). Además de los beneficios medioambientales, esta estrategia fortaleció la imagen de la denominación como referente en sostenibilidad, generando valor añadido en los mercados internacionales.

- **España (Ribera del Duero):** El proyecto Viñas con Vida estableció refugios de biodiversidad, incluyendo hoteles para insectos, nidos para aves insectívoras y plantación de especies de miel. Como resultado, se observó un notable aumento en la presencia de polinizadores y un fortalecimiento de los servicios ecosistémicos en los viñedos participantes. Gracias a estas medidas, varias bodegas de la zona obtuvieron la certificación de la Wildlife Friendly Alliance (WFA), que fue un elemento diferenciador en el mercado.

- **Sudáfrica** La Iniciativa de Biodiversidad y Vino (BWI) es uno de los programas pioneros a nivel mundial. A través de acuerdos entre productores y organizaciones de conservación, se han protegido más de 112.000 hectáreas de hábitats naturales adyacentes a viñedos (BWI, 2021). Esta estrategia no solo conservó especies endémicas de flora y fauna, sino que también generó una narrativa de sostenibilidad que situó a los vinos sudafricanos en un mercado global cada vez más sensible a los problemas medioambientales.

- **Italia (Toscana y Sicilia)** Varias bodegas han optado por proyectos agroforestales en viñedos, integrando árboles y arbustos entre parcelas para promover la polinización y regular el microclima. Estos sistemas mixtos han mostrado mejoras en la retención de agua, la reducción de la erosión y un mayor atractivo paisajístico, beneficiando también al enoturismo.

- **Chile (Valle de Colchagua)** En colaboración con ONG medioambientales, algunos viñedos han establecido corredores biológicos que conectan áreas de

bosque nativo fragmentado. Esto ha favorecido la presencia de fauna como zorros y aves rapaces, al tiempo que contribuye a la reducción de plagas en el viñedo mediante el control biológico natural.

1.4. Uso sostenible de la energía en viñedos

El uso eficiente y sostenible de la energía en la viticultura es un componente esencial para reducir la huella de carbono del sector y avanzar hacia una economía de bajas emisiones. La energía se utiliza en diversas etapas del ciclo de producción, desde la labranza del suelo, riego y protección fitosanitaria, hasta las operaciones de cosecha y el transporte a la bodega. Según la *Organización Internacional de Viñedos y Vinos* (OIV, 2021), el consumo energético en la viticultura convencional puede representar hasta el 25% de los costes operativos, principalmente debido al uso de combustibles fósiles en maquinaria agrícola y electricidad para sistemas de bombeo y riego.

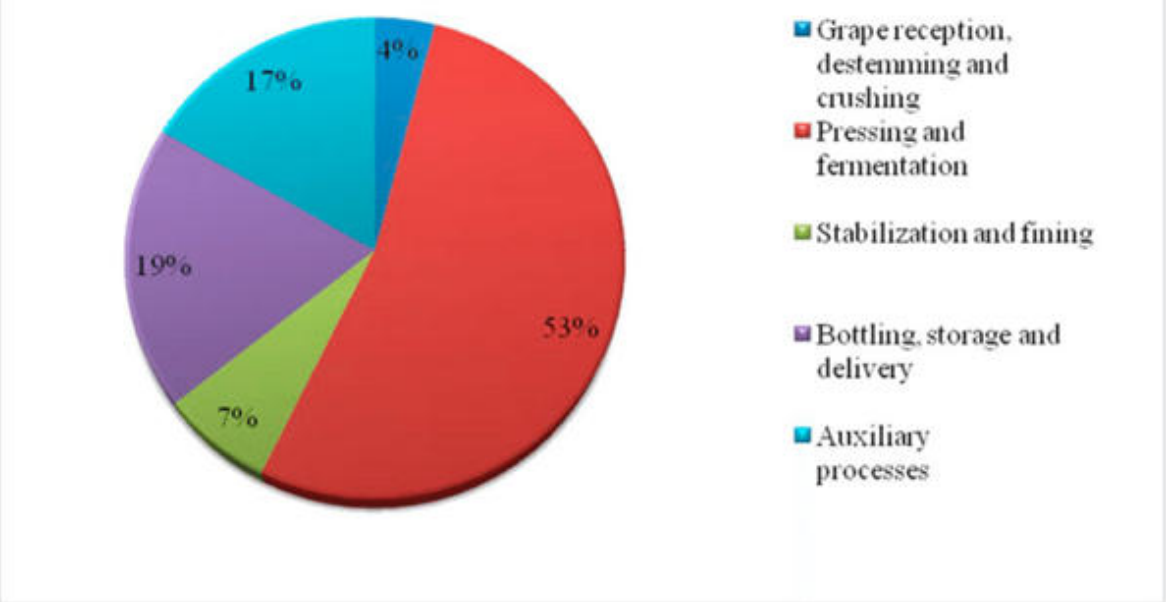

Figura 9. Distribución del consumo energético en la producción de vino en una bodega italiana. Fuente: Malvoni et al. 2017

Importancia estratégica del ahorro energético en la viticultura

El contexto actual de cambio climático, crisis energética y políticas de descarbonización (Acuerdo de París, Pacto Verde Europeo) obliga a las explotaciones vitivinícolas a optimizar su consumo energético, incorporando fuentes renovables y tecnologías de eficiencia (Comisión Europea, 2020). El concepto de *neutralidad climática* en la viticultura está cada vez más presente, especialmente en designaciones de origen que promueven sellos de sostenibilidad como *International Wineries for Climate Action* (IWCA, 2022).

La eficiencia energética en la viticultura es un objetivo prioritario, ya que el consumo en riego y gestión de viñedos puede representar una parte significativa de los costes operativos y las emisiones. Los estudios de evaluación del ciclo de vida (LCA) han demostrado que la mayor parte de la huella de carbono proviene de fases como el embotellado, la energía de la bodega y los materiales de envasado, más que del propio cultivo (Pattara et al., 2012).

La adopción de prácticas sostenibles y el despliegue de tecnologías ecoinnovadoras contribuyen a mejorar la sostenibilidad operativa y a responder a las demandas de los consumidores conscientes del cambio climático (Brito et al., 2024).

Principales estrategias para el uso sostenible de la energía

a) Auditorías energéticas y monitorización del consumo

Antes de implementar medidas, es esencial conocer el perfil energético del viñedo. Las auditorías permiten identificar puntos críticos de consumo, como el bombeo para riego, el aire acondicionado en instalaciones o el uso de tractores. Herramientas como **EnergyCheck Viticulture** o **Intelligent Rural** Energy permiten monitorizar el consumo en tiempo real, facilitando la toma de decisiones (FAO, 2020).

b) Eficiencia en maquinaria agrícola

Utilizar maquinaria más eficiente y bien mantenida es una práctica básica. Sustituir los tractores diésel por tractores híbridos o eléctricos, como el modelo eléctrico New Holland T4, puede reducir las emisiones directas hasta en un 90% y los costes de combustible en un 50% (New Holland, 2022). Además, los sistemas de guiado GPS y la agricultura de precisión reducen los desplazamientos innecesarios, optimizando el consumo (Matese & Di Gennaro, 2015).

c) Optimización del riego

El riego representa entre el 40% y el 60% del consumo energético del viñedo (Allen et al., 1998). Tecnologías como los variadores de frecuencia en bombas, los sensores de humedad del suelo y la integración de energía solar para el bombeo fotovoltaico son clave. En España, el proyecto Solarwine logró reducir el coste energético del bombeo en un 70% instalando paneles solares en cooperativas vinícolas (IDAE, 2021).

d) Incorporación de energías renovables

La instalación de sistemas fotovoltaicos es la opción más extendida. Viñedos de La Rioja y Burdeos han instalado cubiertas solares en almacenes y estructuras iluminadas en hileras, generando energía para sistemas de bombeo y sensorización. En regiones ventosas, la energía eólica complementaria también se utiliza para alimentar estaciones meteorológicas y sistemas de monitorización (Bindi & Olesen, 2011).

e) Recuperación y almacenamiento de energía

El uso de baterías de almacenamiento y sistemas híbridos garantiza la continuidad del suministro en zonas rurales con conectividad limitada. Además, se han

implementado microredes que conectan varias granjas, reduciendo el coste unitario de la energía renovable (Kamilaris et al., 2017).

f) Digitalización y gestión inteligente de la energía

El concepto de viñedos inteligentes también se aplica al consumo energético. Plataformas IoT como **VitiEnergy** integran datos de sensores, predicciones meteorológicas y algoritmos de optimización para activar automáticamente procesos de riego, iluminación y bodegas en momentos de menor coste energético (Wolfert et al., 2017). Esto permite desplazar la demanda a periodos de baja demanda y minimiza los picos de consumo.

Beneficios de la eficiencia energética en los viñedos

- **Reducción de costes operativos:** La implementación de medidas de eficiencia energética —como la modernización de sistemas de riego, la sustitución de luminarias por tecnología LED o la incorporación de energías renovables— puede suponer ahorros de entre el 20% y el 40% en el consumo energético total de un viñedo y su bodega asociada. Estos ahorros son especialmente significativos en regiones donde la electricidad representa una parte significativa de los costes de producción y permiten liberar recursos económicos que pueden reinvertirse en innovación, calidad enológica o gestión medioambiental.
- **Menor huella de carbono:** Reducir el consumo de combustibles fósiles y optimizar la eficiencia en procesos clave (riego, bombeo, refrigeración, transporte interno) permite reducir significativamente las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto no solo contribuye al cumplimiento de normativas medioambientales cada vez más estrictas, sino que también facilita la obtención de certificaciones sostenibles (IWCA, WFA, etc.), que se han convertido en un valor estratégico en los mercados internacionales sensibles a la sostenibilidad.
- **Resiliencia energética:** Diversificar las fuentes de energía incorporando solar, eólica o biomasa reduce la dependencia de los combustibles fósiles y las fluctuaciones del mercado energético global. En un contexto de volatilidad en los precios de la energía, contar con sus propias instalaciones permite a los viñedos protegerse frente a aumentos inesperados y garantizar la continuidad de las operaciones, incluso en escenarios de crisis energética.
- **Valor añadido en marketing:** La eficiencia energética no solo genera beneficios internos, sino que también puede comunicarse como parte de la identidad de la marca. Conceptos como el vino neutro en carbono o la bodega neta cero ofrecen un claro factor diferenciador en un mercado cada vez más competitivo. Para el consumidor consciente, un vino producido con un bajo impacto energético transmite un compromiso tangible con el medio ambiente, lo que aumenta su atractivo y puede justificar un mayor valor percibido.

Desafíos para la transición energética en los viñedos

- **Alta inversión inicial:** La instalación de sistemas fotovoltaicos, microaerogeneradores o baterías de almacenamiento requiere un CAPEX considerable, especialmente en viñedos medianos o pequeños, donde los márgenes de beneficio son ajustados. Aunque la rentabilidad se logra a medio y largo plazo, el gasto inicial puede suponer una barrera para los productores que no tienen acceso a crédito o financiación específica.
- **Mantenimiento y actualización tecnológica:** Las tecnologías de generación renovable y eficiencia energética requieren revisiones periódicas, repuestos y actualizaciones de software. En las zonas rurales, donde el soporte técnico especializado es limitado, estas tareas pueden provocar inactividad o costes adicionales. Además, el rápido avance tecnológico significa que los equipos instalados hace solo 10 años ya son menos eficientes o carecen de soporte técnico adecuado.
- **Falta de incentivos claros:** Aunque existe ayuda bajo la PAC, programas europeos (Horizon Europe, LIFE) o iniciativas nacionales de transición energética, el acceso a ella suele estar condicionado por una burocracia compleja, plazos largos y requisitos técnicos difíciles de cumplir. Esto desincentiva la participación de pequeños y medianos productores, que a menudo carecen de personal administrativo para gestionar las solicitudes.
- **Carencia de conocimiento:** La digitalización y automatización de los sistemas energéticos (sensores, software de gestión, paneles inteligentes) requiere un nivel de formación técnica que no siempre está presente en los equipos de trabajo en viñedos. Sin formación específica, existe el riesgo de un uso ineficiente o incluso incorrecto de las tecnologías, reduciendo los beneficios esperados. La falta de programas de formación adaptados al sector vinícola sigue siendo un desafío a superar.

Ejemplos de implementación exitosa

- **Familia Torres (España):** Esta bodega ha asumido un firme compromiso con la transición energética, instalando sistemas fotovoltaicos que cubren alrededor del 25% de su demanda eléctrica e invirtiendo en tractores eléctricos para sustituir progresivamente su flota de combustión. Gracias a estas medidas, logró una reducción del 30% en sus emisiones totales de CO_2 (IWCA, 2022). Además, ha combinado estas acciones con proyectos de captación de carbono mediante la reforestación y la regeneración del suelo.



Figura 10. Instalaciones fotovoltaicas de la familia Torres. *Fuente: Familia Torres*

- **Jackson Family Wines (EE. UU.):** Con sede en California, esta empresa implementó un ambicioso plan de energías renovables que incluye microturbinas eólicas, bombas solares y almacenamiento de energía. Como resultado, logró ahorros anuales de más de 2 millones de kWh, fortaleciendo su resiliencia frente a sequías y frecuentes cortes de electricidad en la región (Sustainable Winegrowing Alliance, 2021). Su modelo ha sido replicado como un referente en la viticultura estadounidense.

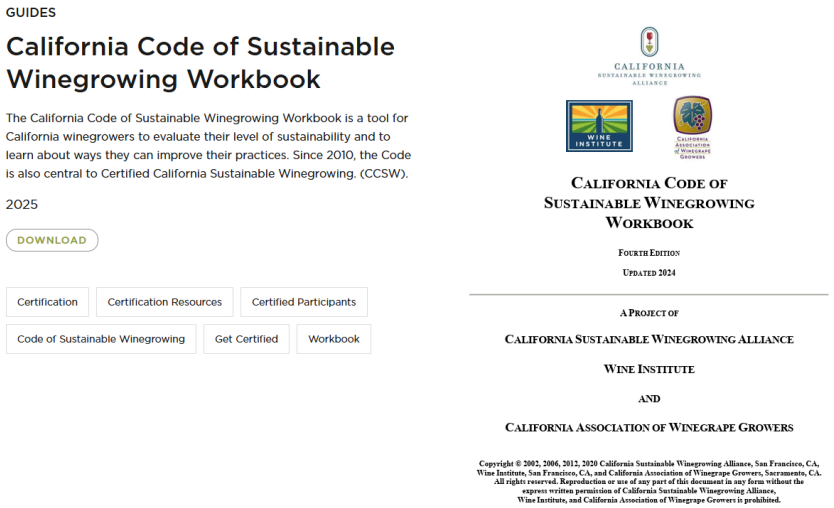

Figura 11. Manual del Código de Vitícola Sostenible de California. *Fuente: California Sustainable Winegrowing Alliance*

- **Château Smith Haut Lafitte (Francia):** Esta bodega burdeana adoptó un enfoque ejemplar y sostenible, combinando biodiversidad, economía circular y eficiencia energética. La finca fue pionera en capturar el CO_2 liberado durante la fermentación y reutilizarlo para producir bicarbonato de sodio, una innovación única en el mundo vinícola, como parte de una célula subterránea de bajo consumo conocido como la "Stealth Cellar". Además, este proyecto incorpora elementos como energía solar, intercambio térmico geotérmico, captación de agua de lluvia y materiales locales para mantener una

temperatura estable sin necesidad de sistemas mecánicos intensivos de refrigeración. La iniciativa va más allá de la eficiencia energética: favorece un modelo de economía circular, en el que los residuos agrícolas y los subproductos de la bodega se utilizan de múltiples maneras. Por ejemplo, para la producción de productos de belleza, reforzando un modelo sostenible en la granja.



Figura 12. Colector de CO2 para procesos de fermentación. Fuente: Château Smith Haut Lafitte

1.4. Valoración de los residuos de poda y la biomasa de viñedos

La gestión de los residuos de poda y la biomasa leñosa generada en los viñedos representa un componente estratégico de la transición hacia sistemas de producción más circulares y resilientes al clima. Tradicionalmente, las podas de vid y otros residuos leñosos se han retirado del campo o quemado en el lugar. Estas prácticas generan emisiones directas de gases de efecto invernadero, contaminación por partículas y la pérdida de recursos orgánicos potencialmente valiosos.

Dentro de los marcos vitícolas sostenibles, estos materiales son cada vez más reconocidos como insumos estratégicos capaces de mejorar la fertilidad del suelo, aumentar la capacidad de retención de agua y contribuir a la captura de carbono a largo plazo. Este cambio de perspectiva —de la eliminación de residuos a la gestión de recursos— posiciona al viticultor como un gestor activo de los ciclos biogeoquímicos dentro del sistema agrícola.

La Comisión Europea y la FAO han destacado el aumento del carbono orgánico en el suelo como una de las medidas más eficaces para mejorar la salud del suelo y la adaptación al clima (Comisión Europea, 2021; FAO, 2017). En este contexto, reintegrar la biomasa de viñedos en el suelo representa una práctica con alto potencial ambiental y agronómico.

De los residuos a los recursos: principios de la economía circular en el viñedo

La valoración de los residuos de poda se fundamenta en los principios de la economía circular aplicados a la agricultura: cerrar los bucles de nutrientes dentro de la granja.

En lugar de depender exclusivamente de fertilizantes minerales externos, los viñedos pueden reutilizar parte de la biomasa generada anualmente para mantener o mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

La literatura científica muestra que los sistemas agrícolas que incorporan residuos orgánicos tienden a aumentar progresivamente los niveles de carbono orgánico en el suelo, mejorando la estructura del suelo y la estabilidad de los agregados (Lal, 2004; FAO, 2017). En las regiones mediterráneas, donde los suelos suelen tener un bajo contenido de materia orgánica y son muy vulnerables a la erosión, esta práctica es especialmente relevante.

Desde una perspectiva económica, la reutilización interna de biomasa reduce la dependencia de insumos externos y fortalece la imagen medioambiental de la bodega — un factor cada vez más importante en los mercados internacionales y en los esquemas de certificación de sostenibilidad.



Figura 14. Adhesión de los restos de poda al suelo

Principales vías de valoración

La implementación práctica de la reutilización de biomasa puede seguir diferentes enfoques según las condiciones del suelo, el clima, la maquinaria disponible y los objetivos de producción.

- **Trituración e incorporación directa:** Los residuos de poda se trituran mecánicamente y se distribuyen por la superficie del suelo o se incorporan ligeramente. Esto acelera la descomposición y contribuye a la formación del humus. Los estudios de viticultura mediterránea han mostrado aumentos en el carbono orgánico del suelo y mejoras en la estabilidad estructural bajo prácticas sistemáticas de trituración (Martínez-Casasnovas et al., 2012).

- **Compostaje:** El compostaje estabiliza el material orgánico y produce una enmienda del suelo más homogénea. Reduce los riesgos sanitarios y permite un mejor control del balance carbono-nitrógeno, evitando la inmovilización temporal del nitrógeno (FAO, 2017).

- **Cobertura acolchada o cobertura superficial:** La biomasa triturada que queda en la superficie actúa como mantillo protector, reduciendo la evaporación, suprimiendo malas hierbas y protegiendo el suelo de la erosión hídrica. Esto es especialmente efectivo en viñedos inclinados propensos a la escorrentía.

- **Producción de biocarbón:** Mediante pirólisis, los residuos leñosos pueden transformarse en biocarbón — un material de carbono altamente estable capaz de permanecer en el suelo durante décadas. El biochar mejora la estructura del suelo y la retención de agua, y tiene un potencial significativo de secuestro de carbono (Woolf et al., 2010). Aunque requiere inversión tecnológica, su capacidad a largo plazo para mitigar el clima es considerable.

Beneficios agronómicos observados

La investigación europea y mediterránea identifica consistentemente varios efectos positivos cuando los residuos de poda se reintegran a lo largo de varias estaciones:

- Aumento del contenido de carbono orgánico en el suelo
- Mejora de la estabilidad de los agregados y de la estructura del suelo
- Mejora de la infiltración y retención de agua
- Aumento de la actividad microbiana
- Reducción de la erosión en viñedos inclinados

La FAO enfatiza que el aumento de materia orgánica en el suelo fortalece la resiliencia ante sequías y eventos climáticos extremos (FAO, 2017). Además, los estudios indican que combinar la incorporación de biomasa con cultivos de cobertura amplifica las mejoras en las propiedades físicas del suelo y en la dinámica del agua (Martínez-Casasnovas et al., 2012).

Consideraciones técnicas y limitaciones

La valoración de los residuos de poda ofrece claros beneficios agronómicos y medioambientales, pero su éxito depende de una correcta implementación. La reincorporación de biomasa leñosa al sistema de viñedos debe planificarse cuidadosamente para evitar efectos nutricionales o fitosanitarios no deseados.

Una de las principales preocupaciones está relacionada con los **riesgos fitosanitarios**. La madera de poda puede contener esporas fúngicas o patógenos de temporadas anteriores. En zonas con alta presión de enfermedad, los residuos deben triturarse finamente para acelerar la descomposición, y no se debe reincorporar material visiblemente infectado. Un seguimiento adecuado y un apoyo asesor son esenciales para prevenir la transmisión de inóculos (Rossi et al., 2012).

Otro factor clave es la **relación carbono-nitrógeno (C/N).** Los residuos leñosos son ricos en carbono y pueden inmovilizar temporalmente el nitrógeno del suelo durante la descomposición. Aunque este efecto suele ser a corto plazo, los planes de fertilización deberían anticipar posibles déficits temporales, especialmente en suelos de baja fertilidad (FAO, 2017).

La **tasa de descomposición** depende de la calidad de la trituración, la humedad, la temperatura y la actividad biológica del suelo. Un tamaño de partículas más fino y condiciones ambientales favorables favorecen la descomposición e integración en materia orgánica estable (Lal, 2004).

También deben abordarse consideraciones operativas. La trituración requiere maquinaria y tiempo de mano de obra adicional, lo que puede suponer una limitación para viñedos pequeños. Los sistemas cooperativos de intercambio de equipos pueden reducir esta barrera y facilitar su adopción.

La incorporación de residuos debe ser compatible con otras prácticas en el suelo, incluyendo cultivos de cobertura y operaciones mecánicas. La planificación integrada de la gestión del suelo maximiza los beneficios y reduce los conflictos (Martínez-Casasnovas et al., 2012).

Por último, la **mejora del suelo es gradual**. Es necesario monitorizar indicadores como la materia orgánica del suelo, la capacidad de infiltración y el rendimiento de las vides para evaluar el impacto a largo plazo (Comisión Europea, 2021).

Cuando se gestiona adecuadamente, la valoración de residuos de poda refuerza la resiliencia del suelo y apoya los objetivos de mitigación climática. Cuando se planifica mal, puede introducir riesgos agronómicos evitables. El éxito depende de la integración, el seguimiento y la adaptación a las condiciones locales.

Dimensión económica

Aunque los beneficios medioambientales están bien documentados, los viticultores también deben evaluar las implicaciones financieras. Puede ser necesario invertir inicialmente en equipos de trituración o tiempo de mano de obra adicional. Sin embargo, se ha demostrado que las prácticas de suelo regenerativo reducen los costes de fertilización y riego a largo plazo mientras mejoran la resiliencia (FAO, 2017).

La viabilidad económica es más fuerte cuando la valoración de la biomasa se integra en una estrategia integral de sostenibilidad, donde las mejoras medioambientales se traducen en diferenciación del mercado y valor añadido de marca.

Casos de éxito:

- **VineAdapt (España):** El proyecto LIFE VineAdapt evaluó medidas de adaptación climática en viñedos españoles. El uso de residuos triturados como mantillo superficial demostró una reducción de tasas de evaporación y una mejora de la retención de agua en el suelo, contribuyendo a menores necesidades de riego bajo condiciones de sequía.

- **VITIREG (España, Portugal y Francia):** El proyecto VITIREG ha trabajado en la promoción de prácticas regenerativas en los viñedos, incluyendo la trituración de brotes de vid y su devolución al suelo, como estrategia para aumentar la materia orgánica y mejorar la estructura del suelo.

Los ensayos demostraron que la incorporación continua de biomasa promueve la actividad biológica y contribuye a una mayor resiliencia ante la sequía, especialmente en zonas mediterráneas con baja fertilidad natural.



Figura 14. Consorcio VITIREG

- **Institut Français de la Vigne et du Vin (Francia):** El IFV ha llevado a cabo programas experimentales a largo plazo sobre la incorporación de residuos de poda triturada. Los resultados indican aumentos progresivos en el carbono orgánico del suelo y una mejor estabilidad estructural, especialmente cuando se combinan con cultivos de cobertura permanentes.

2. Transición energética en la industria vinícola

La transición energética es uno de los mayores retos y, al mismo tiempo, una de las principales oportunidades para la industria vinícola en el contexto actual de crisis climática y transformación hacia una economía baja en carbono. El sector vinícola, tradicionalmente intensivo en el uso de la energía en fases como la elaboración de vino, el almacenamiento, el aire acondicionado y el transporte, se enfrenta a la necesidad de reducir su dependencia de los combustibles fósiles y de avanzar hacia modelos de producción alineados con el Pacto Verde Europeo y los compromisos internacionales para mitigar el cambio climático (Comisión Europea, 2020).

En este escenario, la incorporación de energías renovables, la optimización de la eficiencia energética y la adopción de sistemas de gestión digital se convierten en pilares estratégicos. Estas medidas no solo reducen las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), sino que también contribuyen a mejorar la competitividad, reducir los costes operativos y fortalecer la reputación de las bodegas en cuanto a sostenibilidad ante consumidores cada vez más conscientes (OIV, 2021).

Por tanto, la transición energética en la viticultura no debe entenderse solo como una obligación medioambiental, sino como un cambio estructural que impulsa la innovación tecnológica, promueve la economía circular y abre nuevas oportunidades de diferenciación en un mercado global altamente competitivo.



Figura 15. Instalación del "sombreado inteligente" de la bodega San Gabriel. Fuente: Laura Cano Liébana, 2022

2.1. Integración de energías renovables en la industria del vino

El principal objetivo de la transición energética en la industria vinícola es reducir la dependencia de los combustibles fósiles y minimizar la huella de carbono, en línea con los compromisos internacionales sobre el cambio climático y las directrices del

Pacto Verde Europeo (Comisión Europea, 2020). La integración de energías renovables en bodegas y viñedos no solo responde a una necesidad medioambiental, sino también a una oportunidad económica, ya que reduce los costes energéticos a largo plazo, garantiza la autonomía energética y mejora la imagen de sostenibilidad ante consumidores cada vez más conscientes (Stolz et al., 2011).

La Organización Internacional de Viñedos y Vinos (OIV) ha identificado la energía como un factor clave en la estrategia de sostenibilidad del sector, promoviendo la incorporación de sistemas renovables como pilar fundamental para alcanzar la neutralidad climática (OIV, 2021). Entre las principales fuentes renovables que pueden integrarse en la industria vinícola están:

a) Energía fotovoltaica y solar térmica

La energía solar es la opción renovable más adoptada en la viticultura y las bodegas debido a la abundante radiación solar en las regiones vinícolas del Mediterráneo, América Latina y California (FAO, 2020). Existen dos tecnologías principales:

- **Sistemas fotovoltaicos (PV):** Transforman la radiación solar en electricidad mediante paneles instalados en los tejados de bodegas, almacenes o incluso en hileras de viñedos (*agrivoltaicos*). Esta energía alimenta equipos de bombeo para riego, sistemas de refrigeración en la bodega y maquinaria eléctrica. Estudios en viñedos de Castilla-La Mancha y Burdeos muestran reducciones de hasta un 70% en las facturas eléctricas al combinar el autoconsumo fotovoltaico con baterías (IDAE, 2021).
- **Energía solar térmica:** Se utiliza principalmente para calentar agua en procesos de limpieza de barriles, tanques y en sistemas de aire acondicionado en bodegas. Un caso emblemático es el de **Bodegas Torres (España),** que incorporó colectores solares térmicos, reduciendo el consumo de gas para agua caliente en un 30% (IWCA, 2022).

Ventajas:

- Reducción de emisiones directas y dependencia energética.
- Posibilidad de *agrivoltaicos*, que reduce la evaporación en el viñedo y genera sombra beneficiosa en climas cálidos (Ravi et al., 2022).
- Resiliencia energética ante crisis y volatilidad de precios.

  Valor añadido en la comercialización (vino neutro en carbono) con acceso a financiación verde e incentivos fiscales, cada vez más vinculados a proyectos sostenibles.
- Mejora de la trazabilidad y transparencia, al poder monitorizar el consumo en tiempo real.

Desafíos:

- Alta inversión inicial y necesidad de espacio para instalación.

- Producción intermitente que requiere almacenamiento o sistemas de conexión a la red.
- Mantenimiento y actualización tecnológica en zonas rurales.
- Falta de incentivos claros y burocracia compleja.
- Vacío de conocimientos técnicos.
- Condiciones geográficas y climáticas.
- Retorno de la inversión a medio/largo plazo.
- Posibles incompatibilidades paisajísticas o patrimoniales, especialmente en viñedos históricos.
- La dependencia de proveedores tecnológicos externos, lo que puede conllevar costes adicionales o falta de autonomía.



Figura 16. Agrivoltaicos. Fuente: Iberdrola

b) Biomasa del vino: Recuperación de orujo y brotes de vid

La viticultura genera grandes volúmenes de residuos orgánicos cada año, incluyendo purajos, tallos, leas y brotes de vid. Tradicionalmente, estos subproductos se consideraban de bajo valor añadido, en muchos casos destinados a su disposición o uso limitado en enmiendas agrícolas. Sin embargo, en el marco de la economía circular y la transición energética, estos residuos han sido revalorados como fuentes estratégicas de energía renovable y como insumos para mejorar la sostenibilidad en los sistemas vinícolas (Pérez-Pérez et al., 2021).

La biomasa vinícola puede utilizarse mediante diferentes tecnologías: combustión directa, gasificación, digestión anaeróbia para biogás o pirólisis para la producción de biocarbón y bioaceites. Estas aplicaciones permiten transformar residuos en energía

térmica y eléctrica, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y evitando las emisiones asociadas al transporte y eliminación final de los residuos. Además, el uso de biomasa contribuye a cerrar el ciclo de producción del viñedo, devolviendo nutrientes y carbono estable al suelo en forma de biochar, con beneficios para la fertilidad y la capacidad de retención de agua.

- **Pome:** Residuos de vinificación compuestos por pieles, semillas y restos de pulpa. Puede secarse y usarse como biomasa sólida o transformarse en pellets para calderas de biomasa. En La Rioja, el proyecto Biovino logró que varias bodegas cubrieran el 100% de sus necesidades térmicas invernales con manojo seco, evitando la emisión de unas 1.500 toneladas de CO_2 al año (González et al., 2022).
- **Brotes de vid:** Residuos de poda de vid que, una vez triturados y secos, se utilizan como biomasa para calderas o como materia prima para la producción de biocarbón. Estos últimos no solo generan energía en el proceso de producción, sino que, al aplicarse al suelo, mejoran la retención de nutrientes y agua, y actúan como sumidero de carbono a largo plazo (Lehmann & Joseph, 2015).

Ventajas

- Reducción de residuos y reducción de costes de gestión.
- Sustitución parcial o total de combustibles fósiles.
- Sinergia con la fertilización del suelo si se produce biocarbón.
- Uso local de recursos, reducción de costes de transporte y aumento de la autonomía energética de la bodega.
- Contribución a la mitigación del clima, mediante la captura de carbono y la reducción de emisiones en comparación con el uso de diésel o gas natural.

Desafíos:

- Necesidad de logística para la recogida, secado y almacenamiento de residuos.
- Requisitos específicos de maquinaria para la pelletización o acondicionamiento del material.
- La variabilidad estacional en la disponibilidad de biomasa, lo que obliga a la planificación de la acumulación y almacenamiento a cubrir la demanda anual.
- Posibles emisiones de partículas en combustión, que requieren sistemas de filtrado y el cumplimiento de normativas medioambientales para su control.



Figura 17. Recogida del brote de la vid para su recuperación. Fuente: John O'Ryan

c) Microviento y Geotermia

Aunque menos extendidas que la solar y la biomasa, estas tecnologías están surgiendo en proyectos piloto, especialmente en bodegas con alta demanda térmica o ubicadas en regiones ventosas.

- **Microeólica:** Turbinas de pequeña escala (potencias inferiores a 50 kW) instaladas en zonas con vientos regulares. Se utilizan para alimentar sistemas de refrigeración, iluminación o carga de maquinaria eléctrica. El **grupo Jackson Family Wines** en Oregón incorporó microturbinas en combinación con paneles fotovoltaicos, generando un 40% de energía renovable in situ (Sustainable Winegrowing Alliance, 2021).



Figura 18. Energía eólica en los viñedos. Fuente: Diario de Jerez.

- **Energía geotérmica:** consiste en aprovechar la energía térmica del subsuelo mediante **bombas de calor geotérmicas**, que extraen calor en invierno y lo disipan en verano. Esta tecnología es ideal para bodegas, ya que permite mantener una temperatura estable en habitaciones de envejecimiento, reduciendo el consumo eléctrico del aire acondicionado hasta en un 50% (FAO, 2020). En Burdeos, la **bodega Château Smith Haut Lafitte** combina geotermia y biomasa para cubrir su demanda térmica, logrando una reducción de 180 toneladas de CO_2 al año (Bindi & Olesen, 2011).



Figura 19. Instalación geotérmica en la bodega Château Smith Haut Lafitte *Fuente: VitiViniCultura*

Ventajas:

- Alta eficiencia energética (COP de 3 a 5 en bombas de calor geotérmicas).
- Tecnología silenciosa con poca ocupación espacial.
- Reducción significativa de las emisiones de CO_2 en comparación con los combustibles fósiles.
- Complementariedad con otras renovables, como la solar o la biomasa, para diversificar la matriz energética.

Desafíos:

- Necesidad de logística para la recogida, secado y almacenamiento de residuos.
- Requisitos específicos de maquinaria para la pelletización o acondicionamiento del material.
- La variabilidad estacional en la disponibilidad de biomasa, lo que obliga a la planificación de la acumulación y almacenamiento a cubrir la demanda anual.
- Posibles emisiones de partículas en combustión, que requieren sistemas de filtrado y el cumplimiento de normativas medioambientales para su control.

2.2. Planificación e implementación de sistemas energéticos en bodegas

La transición energética en el sector vinícola no se limita a la incorporación de tecnologías renovables, sino que implica un proceso integral de diagnóstico, planificación, ejecución y seguimiento. Este proceso debe adaptarse a la realidad específica de cada bodega, teniendo en cuenta factores como el tamaño, la ubicación, la capacidad de producción, el clima y el presupuesto disponible. El objetivo es

maximizar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero sin comprometer la calidad del vino, la operatividad empresarial o la rentabilidad (Finger et al., 2019).

1. Diagnóstico de energía inicial

El primer paso es realizar una auditoría energética para identificar los puntos críticos de consumo. Según estudios de la OIV (2021) y el Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético (IDAE), en una bodega típica las principales fuentes de consumo son:

- **Procesos de vinificación:** bombas, prensas, sistemas de fermentación controlados.
- **Aire acondicionado y refrigeración:** mantenimiento de la temperatura en tanques y salas de cría (puede representar hasta el 50% del consumo total).
- **Oficinas de iluminación y administrativas.**
- **Riego y bombeo en el viñedo.**

Un diagnóstico adecuado permite calcular el índice energético por litro de vino producido, compararlo con los estándares del sector (benchmarking) y definir objetivos de reducción (IDAE, 2021).

2. Diseño del Plan Energético

Una vez identificado el patrón de consumo, se diseña un Plan Energético Integral, que debe incluir:

- **Definición de objetivos estratégicos:** reducción del consumo en X% en 5 años, neutralidad de carbono para 2030, etc.
- **Selección tecnológica óptima:** basada en análisis de viabilidad técnica, climática y económica.
- **Evaluación del ciclo de vida (LCA):** para estimar el impacto ambiental total de las soluciones propuestas.

Se recomienda aplicar metodologías como el Análisis Multicriterio (CMA) para priorizar inversiones (Pardo et al., 2019). Este enfoque permite ponderar criterios como el coste de inversión, los ahorros esperados, el impacto medioambiental, la facilidad de integración y la vida útil.

3. Implementación de tecnologías y soluciones híbridas

En la práctica, la mayoría de las bodegas optan por **combinaciones híbridas** que integran diversas tecnologías renovables junto con sistemas eficientes energéticamente. Ejemplos:

- **Hibridación solar + biomasa:** paneles fotovoltaicos para cubrir el consumo eléctrico diurno, biomasa para calefacción en invierno.
- **Geotermia + Solar Térmica:** para un aire acondicionado estable en habitaciones envejecidas y para reducir el consumo eléctrico en refrigeración.
- **Sistemas de almacenamiento de energía:** baterías de litio o tecnologías emergentes como baterías de flujo, para mejorar la autonomía y la gestión de la demanda.

En California, la *bodega Robert Mondavi* instaló un sistema híbrido que combina energía fotovoltaica (1 MW), baterías Tesla Powerpack y calderas de biomasa, reduciendo su dependencia de la red eléctrica en un 35% y logrando ahorros anuales de más de 300.000 dólares (IWCA, 2022).

4. Gestión y automatización digital

La transición energética en la viticultura está estrechamente vinculada a la **digitalización**. **Las plataformas de gestión energética (EMS)** permiten:

- Monitorizar el consumo y la generación en tiempo real.
- Predecir picos de demanda utilizando algoritmos predictivos.
- Automatizar el funcionamiento del equipo, optimizando la relación generación-consumo.

Un caso pionero es el de **SmartVitis** en Italia, que integra datos de energía, riego y clima para programar las operaciones agrícolas según la disponibilidad renovable (Moriondo et al., 2020).

5. Financiación e incentivos

Uno de los principales retos para la implantación de sistemas energéticos sostenibles es el **alto coste inicial**, que puede oscilar entre **50.000 y 500.000 €**, dependiendo del tamaño y la tecnología seleccionada (Boraud et al., 2022). Para superar esta barrera, se han desarrollado las siguientes:

- **Subvenciones públicas:** como la ayuda del Programa de Desarrollo Rural (RDP) de la UE y **los fondos del Pacto Verde**.
- **Modelos innovadores de financiación:**
    - **Arrendamiento energético**: la empresa proveedora instala el sistema y el viticultor paga una cuota mensual inferior a la factura energética anterior.
    - **Contratos de compra de energía (PPA):** contratos a largo plazo para la compra de energía renovable sin inversión inicial.
    - **Sistemas cooperativos:** varias bodegas se agrupan para compartir instalaciones y reducir los costes unitarios.

6. Monitorización y mejora continua

La planificación energética no termina con la instalación; debe existir un **sistema continuo de monitorización y evaluación**. Las métricas más utilizadas son:

- **kWh de energía renovable generada anualmente.**
- **Reducción de toneladas de CO_2 equivalente.**
- **Coste energético por litro de vino producido.**

La tendencia actual es hacia la certificación bajo normas como **ISO 50001 (Gestión Energética)** e **ISO 14064 (Huella de Carbono),** que no solo garantizan el cumplimiento normativo, sino que también aportan valor en la comercialización del vino (González-Fernández et al., 2022).

2.3. Estrategias para reducir la huella de carbono en la producción de vino

Reducir la huella de carbono en la industria vinícola es uno de los ejes estratégicos más importantes dentro de la **transición energética y la sostenibilidad**. El sector vinícola, aunque es menos intensivo en emisiones que otras ramas agroindustriales, genera CO_2 y otros gases de efecto invernadero (GEI) en todas las etapas del ciclo de producción: desde el viñedo hasta la distribución del vino (Jones et al., 2010). Este impacto se debe principalmente a:

- **Consumo energético en bodegas:** aire acondicionado, refrigeración, bombeo, embotellado.
- **Uso de fertilizantes y productos fitosanitarias:** que emiten N_2O y CO_2.
- **Operaciones mecanizadas:** trabajo de campo, transporte interno y distribución.
- **Gestión de subproductos y residuos:** fermentación, pomace, brotes.

- **Embalaje y logística:** producción de botellas de vidrio y transporte internacional.

La estrategia para reducir esta huella implica un enfoque integral y sistemático, con acciones coordinadas en energía, procesos de producción, materiales y logística.

1. Medir la huella de carbono como punto de partida

Reducir las emisiones en la industria vinícola requiere, como primer paso, una **cuantificación precisa de la huella de carbono de** la bodega y el viñedo. Medir nos permite conocer la magnitud del problema, identificar las principales fuentes de emisiones y establecer una **línea base** para evaluar el progreso futuro.

Existen varias metodologías reconocidas internacionalmente para la medición:

- **ISO 14064**: Norma internacional para cuantificar y reportar emisiones y reducciones de gases de efecto invernadero (GEI).
- **Protocolo de GEI**: metodología que organiza las emisiones en tres ámbitos:
    - *Alcance 1*: emisiones directas (combustibles, procesos propios).
    - *Alcance 2*: emisiones indirectas asociadas a la energía adquirida.
    - *Ámbito 3*: emisiones de la cadena de valor (transporte, embalaje, distribución).
- **Equivalente de CO_2 (CO_2e):** indicador que permite homogeneizar el impacto climático de diferentes GEI (CO_2, CH_4, N_2O).

En viticultura, la medición debe abarcar tanto la **fase agrícola** (laboreo, fertilizantes, productos fitosanitarios, riego, maquinaria) como la **fase de bodega** (energía en fermentación, aire acondicionado, embotellado, almacenamiento) y la **fase** logística (transporte y distribución).

La **OIV (2021)** y organizaciones como **International Wineries for Climate Action (IWCA)** recomiendan establecer esta línea base y repetir la evaluación **en cada temporada de vino**, ya que las variaciones en el clima, la producción y el consumo energético afectan significativamente a las emisiones.

Un ejemplo ilustrativo es el **de Bodegas Torres (España**), que calculó su huella de carbono y determinó que:

- **El 40**% de las emisiones provenían de la **fabricación de botellas de vidrio**,
- **24%** del **consumo energético en la bodega**,
- **16%** del **transporte**.

Gracias a este análisis, la bodega pudo priorizar medidas en **envases más ligeros y reciclables** y en la **incorporación de energías renovables**, lo que ha permitido reducir sustancialmente su huella en los últimos años (IWCA, 2022).

2. Optimización energética y uso de energías renovables

El consumo energético representa entre el 20% y el 40% de la huella total (Pardo et al., 2019). Algunas estrategias clave:

- **Instalación de paneles solares** fotovoltaicos para el autoconsumo eléctrico, reduciendo la dependencia de la red y las emisiones asociadas a los combustibles fósiles.
- **Uso de biomasa vinícola** (brotes de vid, pomace) para calefacción y generación de energía térmica, reduciendo el uso de diésel o gas natural (Brunori et al., 2020).
- **Recuperación de calor** en procesos de fermentación y destilación para reducir el uso de calderas.
- **Iluminación LED y variadores de frecuencia** en bombas y equipos, optimizando el consumo.

Jackson Family Wines (EE. UU.) combina energía solar (6,7 MW instalados) y eficiencia de refrigeración, logrando una reducción del 33% en sus emisiones en la bodega (IWCA, 2022).

3. Gestión del suelo y secuestro de carbono

El viñedo puede convertirse en **sumidero de carbono** si se aplican prácticas regenerativas que favorezcan la fijación de CO_2 en el suelo:

- **Coberturas vegetales permanentes:** aumentar la materia orgánica y secuestrar carbono (Chirivella et al., 2021).
- **Reducción del laboreo:** evitar la liberación de carbono del suelo.
- **Aplicación de compost orgánico y biocarbón:** mejora la fertilidad y actúa como un depósito estable de carbono.

Estudios en Burdeos y Toscana indican que estas prácticas pueden compensar entre el 8% y el 12% de las emisiones anuales del viñedo (Brunori et al., 2020).

4. Reducción de emisiones en logística y transporte

Transportar vino embotellado a mercados internacionales es un factor relevante en la huella de carbono. Algunas soluciones aplicadas son:

- **Uso de envases ligeros**: reducir el peso de las botellas en 100 g puede disminuir las emisiones en un 6% (OIV, 2021).
- **Alternativas al vidrio tradicional**: botellas PET recicladas, aluminio o envases Bag-in-Box para mercados locales.
- **Optimización de rutas y consolidación de carga**: apoyado por herramientas digitales para minimizar rutas vacías.

Concha y Toro (Chile) redujo el peso de sus botellas en 400 g, logrando una reducción del 13% en las emisiones asociadas al transporte (IWCA, 2022).

5. Economía circular y recuperación de subproductos

Los residuos orgánicos, como el orujo y las leixas, pueden convertirse en fuentes de energía o insumos para otros sectores:

- **Producción de biogás** mediante digestión anaeróbica.
- **Extracción de polifenoles y antioxidantes** para la industria alimentaria y cosmética.
- **Pellets de biomasa** para calefacción interna y venta a terceros.

En Rioja, el proyecto **VINySOST** desarrolló sistemas para convertir los residuos vinícolas en biomasa y biofertilizantes, reduciendo la huella total en un 20% (AENOR, 2022).

6. Certificación y comunicación del compromiso climático

Cada vez más consumidores valoran los vinos con certificaciones medioambientales, tales como:

- **Vino neutro en carbono** (certificado ISO 14064).
- **Estándar de oro de la IWCA**.
- **Certificación orgánica y biodinámica**.

Yealands Estate (Nueva Zelanda) se convirtió en la primera bodega certificada como *"Carbono Neutral",* integrando energía solar, biomasa y reducción de botellas pesadas. La comunicación transparente en las etiquetas y canales digitales refuerza la marca y permite el acceso a mercados premium sensibles a la sostenibilidad.

2.4. Herramientas digitales para el monitoreo de la huella de carbono y el consumo energético

La transformación digital aplicada a la viticultura no se limita solo al seguimiento agronómico, sino que desempeña un papel esencial en **la gestión de la sostenibilidad y la transición energética**. Reducir **la huella de carbono** y optimizar el uso energético requieren **sistemas de monitorización en tiempo real**, análisis predictivo y plataformas integradas que conviertan los datos en decisiones estratégicas (Wolfert et al., 2017; Verdouw et al., 2021). Esta sección explora las herramientas y tecnologías más relevantes para el control y seguimiento del impacto ambiental en viñedos y bodegas.

1. Plataformas digitales de gestión de la huella de carbono

Los sistemas de monitorización de emisiones permiten a las bodegas calcular y reportar su impacto climático siguiendo protocolos internacionales como **ISO 14064**, **el Protocolo de GEI** o **PAS 2050**. Estas herramientas se conectan con datos de energía, producción y transporte para generar informes certificados.

- **Ejemplos destacados:**
    - **SustainaWine®**: una plataforma desarrollada en la UE que integra indicadores de huella de carbono, agua y energía, ofreciendo recomendaciones automáticas para reducir las emisiones (CORDIS, 2021).
    - **Calculadora de Carbono del Vino (California Sustainable Winegrowing Alliance):** calcula las emisiones desde la producción de insumos hasta el embotellado y la logística, incluyendo escenarios de "qué pasaría si" para planificar mejoras.
    - **Herramienta IWCA**: Herramienta oficial de *las Viñas Internacionales para la Acción Climática* para la medición y verificación de emisiones según la metodología **de Alcance 1, 2 y** 3 (IWCA, 2022).

Estas plataformas no solo cuantifican las emisiones, sino que también integran **módulos de simulación de escenarios**: por ejemplo, calcular el impacto de reemplazar el vidrio tradicional por un embalaje ligero o instalar paneles fotovoltaicos.

2. Sensores IoT y monitorización en tiempo real del consumo energético

El despliegue del **Internet de las Cosas (IoT)** en bodegas y viñedos ha revolucionado la capacidad de medir y optimizar el consumo energético:

- **Sensores eléctricos y térmicos** de caudal: miden la energía consumida por bombas, sistemas de refrigeración, prensas y equipos de aire acondicionado.
- **Contadores** inteligentes conectados a plataformas en la nube: generan alertas en caso de picos anormales de consumo.
- **Integración con BMS (Sistemas de Gestión de Edificios)** para optimizar la refrigeración en salas de fermentación y almacenamiento.

Château Larose-Trintaudon (Francia) implementó sensores IoT conectados a la plataforma **Wattsense**, logrando una reducción del 18% en el consumo eléctrico mediante algoritmos de optimización del aire acondicionado (Comisión Europea, 2022).

3. Gemelos digitales y analítica predictiva

El concepto de **Gemelo Digital** aplicado a las bodegas permite simular escenarios energéticos, optimizar procesos y evaluar el impacto de las decisiones estratégicas. Estos modelos integran datos en tiempo real con algoritmos predictivos para:

- **Predecir el consumo de energía** según la carga de trabajo (campaña de cosecha, embotellado).
- **Simula la incorporación de tecnologías renovables** y calcula el retorno de la inversión (ROI) y la reducción de emisiones.

- **Optimizar la programación del riego y el bombeo**, sincronizándola con las horas de menor coste energético y menor huella (Verdouw et al., 2021).

El proyecto **VitiGEOSS** (H2020) implementa gemelos digitales para integrar energía, agua y logística en las granjas vinícolas del sur de Europa, anticipando escenarios climáticos y de mercado (CORDIS, 2022).

4. Inteligencia artificial y Big Data para la eficiencia energética

La IA aplicada a la transición energética en la viticultura se centra en:

- **Predicción de la demanda energética** utilizando redes neuronales que combinan historia, meteorología y programación de procesos.
- **Análisis de la relación entre la producción y la calidad de la energía**: correlacionar datos para identificar el consumo óptimo por litro de vino producido.
- **Detección automática de ineficiencias**: algoritmos que comparan el consumo real con los indicadores de referencia y proponen acciones correctivas.

El software **EnergyMind®** utiliza aprendizaje automático para identificar patrones de desperdicio energético en almacenes, ajustando el funcionamiento del equipo en tiempo real.

5. Blockchain para la trazabilidad y transparencia energética

Cada vez más bodegas buscan comunicar **su compromiso sostenible** con datos verificables. La tecnología blockchain se utiliza para:

- Certificar el origen de la energía renovable utilizada en la bodega.
- Garantizar la transparencia en la cadena de valor.
- Proporciona datos sobre etiquetas inteligentes que muestren la huella de carbono por botella.

El proyecto **GreenChain Wine** en Italia integra blockchain para certificar energías renovables y reducción de emisiones, proporcionando datos accesibles al consumidor mediante códigos QR en la etiqueta.

6. Integración en Plataformas de Gestión Integrada (ERP Agronómica)

El reto no es solo medir, sino **integrar** la información energética con el resto de los procesos de elaboración:

- Sistemas ERP como **AgriWebb, Farm360 y Vite.net®** incorporan módulos de energía y sostenibilidad.

- Las bodegas líderes utilizan paneles unificados donde pueden visualizar en tiempo real el consumo de energía, las emisiones, los indicadores agronómicos y la situación financiera.

Esto permite **tomar decisiones basándose en datos** en lugar de en intuición, alineando la eficiencia energética con la calidad y la rentabilidad.

2.5. Cooperativismo energético en comunidades vitivinícolas

La descarbonización de la viticultura no depende únicamente de prácticas agronómicas a nivel de campo. El uso de energía en riego, maquinaria, refrigeración y operaciones de bodegas representa una parte significativa de la huella de carbono y los costes de producción del sector. En este contexto, el cooperativismo energético ha surgido como una vía estratégica para las comunidades vitivinícolas que buscan aumentar la autonomía energética, reducir costes y acelerar la transición hacia fuentes renovables.

Las cooperativas energéticas son iniciativas colectivas en las que los productores invierten conjuntamente en infraestructuras de energía renovable —normalmente instalaciones fotovoltaicas— y comparten la producción, los costes y los beneficios. Este modelo se alinea con las políticas europeas de transición energética que promueven proyectos energéticos ciudadanos y comunitarios como instrumentos para sistemas energéticos descentralizados y democráticos (Comisión Europea, 2019).



Figura 19. Miembros de la Cooperativa Solar WestmillFuente: Westmill Solar Co-operative

En la viticultura, donde muchos productores operan en áreas geográficamente concentradas y a menudo ya colaboran a través de cooperativas agrícolas tradicionales, el cooperativismo energético representa una extensión natural de las estructuras colectivas existentes.

Justificación estratégica

La energía se ha convertido en una variable estratégica para los territorios vitivinícolas. Más allá de ser un simple coste operativo, la electricidad y el combustible moldean cada vez más la competitividad, la exposición al riesgo y la viabilidad de la adaptación climática. Esto es especialmente relevante en la viticultura porque la demanda energética no es constante: normalmente se concentra en periodos específicos del año (riego en verano; enfriamiento y procesamiento alrededor de la cosecha y la elaboración de vino), lo que puede amplificar el impacto de los picos de precios y las limitaciones de suministro.

En los viñedos, la demanda eléctrica suele estar impulsada por bombeo de riego, especialmente en regiones cálidas donde la sequía y las olas de calor han hecho que el riego suplementario sea más común. En las bodegas, la demanda se concentra en la refrigeración y el control de temperatura (gestión de la fermentación, estabilización en frío, almacenamiento), y se refuerza con líneas de embotellado y procesamiento, sistemas de aire comprimido y cargas generales de instalaciones (iluminación, sistemas de limpieza, motores auxiliares). A medida que avanza la digitalización, el consumo de energía también crece a través de sistemas de monitorización y control (equipos de conectividad, sensores, automatización, registro de datos y, ocasionalmente, dispositivos de periferia), lo que incrementa el valor de un suministro eléctrico estable y predecible.

Este contexto es importante porque la rentabilidad de las actividades intensivas en energía es muy sensible a la volatilidad del mercado. La AIE ha documentado cómo la crisis energética global se tradujo en grandes picos de precios y volatilidad (especialmente en los mercados de gas y electricidad), afectando directamente a la asequibilidad y la planificación para las empresas. Análisis más recientes de la AIE también destacan cambios estructurales en los mercados eléctricos (incluyendo horarios más frecuentes con precios mayoristas negativos en algunos sistemas europeos desde 2022), ilustrando cómo la dinámica de los precios de la electricidad se está volviendo más compleja y menos predecible, reforzando el valor de las estrategias de cobertura y autoconsumo.

En este contexto, el cooperativismo energético (o modelos energéticos cooperativos) ofrece una respuesta práctica: permite a las comunidades vitivinícolas invertir colectivamente en generación renovable—más comúnmente en la energía solar fotovoltaica—y gestionar la energía como un recurso estratégico compartido. Cuando los productores cooperan, normalmente pueden acceder a un mejor diseño de proyectos, economías de escala, mayor poder de negociación y experiencia compartida que las explotaciones individuales podrían carecer. A nivel territorial, también puede fortalecer la cohesión creando activos compartidos, ahorros compartidos y gobernanza compartida.

La inversión colectiva en renovables puede aportar cuatro beneficios estratégicos:

- **Reducir los costes energéticos a largo plazo,** sustituyendo parte de las compras de la red por electricidad autogenerada durante la vida útil de la instalación.

- **Mayor estabilidad de precios,** porque parte del suministro energético queda menos expuesta a oscilaciones del mercado (una ventaja fundamental en mercados volátiles).
- **Mejora del rendimiento medioambiental,** reduciendo las emisiones operativas y apoyando narrativas de informes y certificaciones de sostenibilidad.
- **Mayor cohesión territorial,** ya que el modelo se basa en la toma de decisiones compartida y la creación de valor compartida, en lugar de inversiones aisladas.

Por último, estos proyectos están firmemente alineados con los objetivos de la UE sobre clima y energía. La legislación de la UE introdujo y fortaleció el papel de las comunidades energéticas —específicamente las "comunidades energéticas ciudadanas" y las "comunidades de energías renovables"— como pilar de la transición energética descentralizada. Esto es especialmente relevante para regiones vinícolas donde la cooperación ya existe a través de cooperativas, asociaciones de productores o estructuras interprofesionales.

Modelos Técnicos y Organizativos

El cooperativismo energético en viticultura puede implementarse mediante varias configuraciones prácticas. El modelo más eficaz depende de las limitaciones locales (tejado/terreno disponible, conexión a la red, opciones regulatorias, perfil de demanda) y de cómo la comunidad quiera gobernar la inversión y el reparto de beneficios.

1) Instalaciones fotovoltaicas compartidas

Este es el enfoque más común y fácil de entender: los productores financian conjuntamente una instalación fotovoltaica situada en tejados de bodegas cooperativas, instalaciones compartidas, terrenos adecuados o cerca de infraestructuras de riego. La electricidad puede utilizarse para el autoconsumo colectivo, asignarse a los miembros bajo una regla de distribución acordada, o para compensar parte del consumo de la red de cada miembro.

Lo que hace viable el modelo es la combinación de: (a) generación solar predecible; (b) demanda energética que suele ser significativa durante las horas de luz (bombeo, equipos de refrigeración, operaciones generales); y (c) la posibilidad de distribuir beneficios entre varios miembros. En la práctica, la cooperativa debe definir: quién invierte, cómo se asignan las acciones de participación, cómo se distribuye la electricidad y cómo se miden y comunican los ahorros.

Una referencia operativa relevante es la orientación práctica y el diseño de servicios que ofrece Som Energia para los arreglos de autoproducción colectiva (incluida la gestión del marco de autoconsumo colectivo). Aunque no es específico del vino, muestra cómo los actores cooperativos estructuran los esquemas colectivos y reducen la complejidad de las transacciones para los participantes.

2) Comunidades de la Energía bajo el marco de la UE

Bajo el paquete "Energía limpia para todos los europeos", la UE incorporó formalmente a las comunidades energéticas en la legislación—especialmente a través de los conceptos de comunidades energéticas ciudadanas y comunidades de energías renovables—permitiendo a los actores locales producir, consumir, almacenar y vender energía renovable de forma colectiva.

Para los territorios vinícoles, esto importa porque proporciona una columna vertebral de política para modelos que van más allá de "una instalación para un sitio". Las comunidades energéticas pueden integrar múltiples usuarios y usos (bodegas, entidades de riego, edificios municipales, pymes locales) y pueden potencialmente combinar la generación con otros servicios como la monitorización compartida, la gestión de la demanda y el almacenamiento futuro.

En España, el entorno institucional ha apoyado cada vez más el desarrollo energético comunitario a través de la planificación nacional y programas dedicados (por ejemplo, el marco PNIEC y las líneas de apoyo a la comunidad energética). Esto es importante para los viñedos porque los proyectos cooperativos suelen mejorar la viabilidad cuando se combinan con el apoyo público y un marco legal claro.

3) Integración de riego–energía

En muchas regiones vinícolas mediterráneas, el riego es simultáneamente una herramienta de adaptación climática y un factor de coste creciente. Los sistemas de bombeo alimentados por energía solar —ya sean implementados por una comunidad de riego o una cooperativa de agricultores— pueden reducir la dependencia de la electricidad de la red durante los periodos de mayor precio y también pueden disminuir la dependencia del diésel donde aún existe.

El bombeo solar colectivo resulta especialmente atractivo cuando los viñedos comparten estaciones de bombeo, embalses o calendarios de riego coordinados. Dado que la demanda de riego suele alcanzar su punto máximo en periodos soleados, las necesidades de generación solar y bombeo pueden estar bien alineadas en muchos días, mejorando las tasas de autoconsumo (y, por tanto, los rendimientos económicos). El enfoque cooperativo también ayuda a gestionar la complejidad: en lugar de que cada productor instale pequeños sistemas, se puede diseñar un activo compartido para el perfil real de carga del territorio.

Beneficios medioambientales y económicos

Los beneficios de los modelos renovables cooperativos deben plantearse de una manera que tenga sentido para los productores y las bodegas: no como afirmaciones abstractas de sostenibilidad, sino como mejoras prácticas en el control de costes, la planificación operativa y la reducción de riesgos.

Desde una perspectiva medioambiental, sustituir la electricidad de la red por autoconsumo renovable reduce las emisiones operativas y apoya los objetivos de mitigación climática. El AIE ha subrayado repetidamente el papel de las renovables como componente estabilizador y en expansión del suministro energético durante el reciente periodo de crisis. Para las bodegas, el impacto es especialmente visible

cuando la generación solar coincide con la demanda diurna (bombas, auxiliares de refrigeración, cargas de procesamiento), lo cual es común durante el verano y la vendimia.

Desde una perspectiva económica, el efecto más valorado suele ser la previsibilidad. La inversión cooperativa puede reducir la carga de capital de cada miembro (inversión compartida en lugar de inversiones duplicadas), mejorar el acceso a la experiencia técnica y fortalecer el acceso a incentivos públicos o programas comunitarios dedicados a la energía. En España, por ejemplo, IDAE tiene programas de incentivos específicos para proyectos piloto de la comunidad energética, ilustrando la dirección política hacia modelos colectivos.

La gobernanza cooperativa también puede distribuir el riesgo de forma más eficaz. En lugar de que una granja soporte toda la incertidumbre sobre el rendimiento tecnológico, el mantenimiento y los cambios regulatorios, la cooperativa comparte responsabilidades y puede profesionalizar las operaciones (contratos de mantenimiento, rutinas de monitorización, cumplimiento). Con el tiempo, esto tiende a fortalecer la resiliencia local porque los ahorros energéticos permanecen en el territorio y pueden reinvertirse en medidas de adaptación adicionales (eficiencia hídrica, salud del suelo, herramientas digitales).

Caso de éxito: Modelos energéticos cooperativos en las regiones vinícolas europeas

El cooperativismo energético en la viticultura no es un fenómeno nacional aislado, sino parte de una transición europea más amplia hacia sistemas renovables descentralizados y comunitarios. En varios países productores de vino, las iniciativas energéticas cooperativas y comunitarias han demostrado que la inversión colectiva en infraestructuras renovables puede reducir costes, aumentar la resiliencia y reforzar la cohesión territorial.

Aunque los marcos regulatorios difieren entre Estados miembros, el principio subyacente sigue siendo constante: los actores locales —incluidas bodegas, asociaciones de productores, comunidades de riego y municipios— colaboran para producir, gestionar y consumir energía renovable de forma colectiva bajo el marco habilitado por el Paquete de Energía Limpia de la UE.

1. Francia – Cooperativas Renovables Territoriales en Regiones Vinícolas

En Francia, las cooperativas de energías renovables se han integrado cada vez más en las estrategias de desarrollo rural. En regiones vinícolas como Occitania y Nueva Aquitania, se han implementado proyectos fotovoltaicos colectivos mediante estructuras cooperativas como las SCIC (Sociétés Coopératives d'Intérêt Collectif). Estas iniciativas suelen implicar que bodegas, cooperativas agrícolas y autoridades locales inviertan conjuntamente en instalaciones solares en tejados en instalaciones de bodegas o edificios agrícolas.

El modelo francés destaca la dimensión territorial del cooperativismo energético: los proyectos se integran en estrategias climáticas regionales más amplias, vinculando la autonomía energética con el desarrollo rural y la sostenibilidad agrícola.

Para los viñedos que enfrentan crecientes demandas de riego y refrigeración, la producción solar compartida ha ayudado a estabilizar los costes operativos y a reforzar la posición medioambiental en mercados de exportación competitivos.

2. Italia – Comunidades de Energías Renovables en Agrupaciones Agrícolas

Italia ha desarrollado activamente Comunidades de Energías Renovables (Comunità Energetiche Rinnovabili – CER), especialmente en los territorios agroalimentarios. En regiones vinícolas como Emilia-Romaña y Véneto, proyectos piloto han conectado bodegas, consorcios de riego e instalaciones agroindustriales dentro de sistemas fotovoltaicos compartidos.

La experiencia italiana demuestra cómo los clústeres agrícolas pueden agrupar tejados y recursos de tierra para crear sistemas energéticos distribuidos que benefician a múltiples actores. Es importante destacar que estos proyectos suelen estar respaldados por incentivos nacionales y procedimientos administrativos simplificados, ilustrando cómo las directivas de la UE pueden traducirse en una implementación rural concreta cuando se alinean con los marcos de política interna.

3. Alemania – Cooperativas energéticas de larga trayectoria en zonas rurales

Alemania ofrece una de las tradiciones más consolidadas de cooperativas energéticas (Energiegenossenschaften). En regiones vinícolas como Baden-Wurtemberg y Renania-Palatinado, las cooperativas han financiado instalaciones solares en los tejados de bodegas y en edificios agrícolas compartidos, integrando a veces sistemas de monitorización energética y soluciones de almacenamiento.

El enfoque alemán enfatiza la transparencia financiera, la participación de los miembros y la planificación a largo plazo. Ilustra cómo los modelos energéticos cooperativos pueden evolucionar hacia plataformas de innovación, combinando la generación renovable con herramientas de gestión digital para optimizar los patrones de consumo y aumentar las tasas de autoconsumo.

4. Portugal – Soluciones solares en paisajes vinícolas irrigadas

En el valle del Duero y el Alentejo portugueses, donde la demanda de riego es alta y la presión por sequía aumenta, los sistemas de bombeo solar colectivo han surgido como respuestas prácticas al aumento de los costes eléctricos. Las asociaciones agrícolas y cooperativas locales han invertido en instalaciones fotovoltaicas compartidas para abastecer infraestructuras de riego y bodegas.

Estos proyectos demuestran la alineación estratégica entre la adaptación climática (gestión del agua) y la transición energética, especialmente en entornos mediterráneos donde la disponibilidad de energía solar y las necesidades de riego coinciden estacionalmente.

5. España – Cooperativas Ciudadanas de Energía y Participación Agrícola

España también ofrece ejemplos relevantes a través de cooperativas renovables lideradas por ciudadanos e iniciativas colectivas de autoconsumo. En varias zonas rurales, los sistemas fotovoltaicos instalados en tejados de bodegas cooperativas o en instalaciones agrícolas compartidas han permitido a los miembros reducir las compras de electricidad de la red y aumentar la autonomía energética.

Las experiencias españolas muestran la importancia de las organizaciones intermediarias que proporcionan orientación técnica, apoyo regulatorio y estructuras de gobernanza. Estos actores reducen la complejidad administrativa y ayudan a los viticultores a navegar los marcos colectivos de autoconsumo. Las estrategias nacionales que promueven las comunidades energéticas ciudadanas y la transición energética rural han facilitado aún más estos desarrollos.

Retos y requisitos

A pesar de su potencial, el cooperativismo energético no es "automático". El éxito depende de tratar el proyecto tanto como un sistema técnico como un sistema de gobernanza.

Un primer **requisito es una gobernanza clara:** normas transparentes para la participación, las acciones de inversión, la asignación de beneficios, los procesos de toma de decisiones y la resolución de disputas. Esto es esencial porque los miembros deben confiar en que la cooperativa es justa y está gestionada profesionalmente, especialmente cuando los plazos de recuperación abarcan años.

En segundo lugar, **los proyectos requieren capacidad regulatoria y administrativa.** Las comunidades energéticas existen dentro de marcos legales que definen derechos y obligaciones, y los proyectos cooperativos deben gestionar permisos, conexión a la red, estructuras contractuales y cumplimiento. Las directrices y la legislación de la UE enmarcan explícitamente a las comunidades energéticas como parte del diseño del mercado eléctrico y las normas de empoderamiento del consumidor, reforzando la necesidad de una gobernanza clara y la protección del consumidor.

En tercer lugar, está el **desafío de la movilización inicial de capital y la viabilidad técnica.** Incluso cuando se comparten los costes, las cooperativas deben diseñar proyectos rentables: estimaciones realistas de generación, una buena selección de emplazamientos y una planificación financiera conservadora. Los programas de apoyo público pueden mejorar la viabilidad, pero no sustituyen el riguroso diseño de proyectos.

Cuarto, **los proyectos necesitan coordinación a largo plazo**. Los activos energéticos requieren mantenimiento, supervisión, seguimiento del rendimiento y toma

de decisiones periódica (reinversión, mejoras, cambios de miembros). Sin una coordinación sostenida, el sistema técnico puede rendir por debajo de la calidad y la confianza de los miembros puede disminuir.

Por último, **las cooperativas deben abordar la estacionalidad y la variabilidad:** la generación solar es fuerte en verano, pero la demanda puede alcanzar su pico de forma diferente según las operaciones de la bodega (cosecha/procesamiento) y los calendarios de riego. Algunas regiones también experimentan una mayor complejidad en los patrones de precios mayoristas (incluyendo horas de precios negativos más frecuentes), lo que refuerza la postura a favor de una programación inteligente, la gestión de la demanda y—cuando es viable—de estrategias de almacenamiento o integración flexible de la red.

3. Estudios de caso sobre viticultura sostenible

3.1. Historias de éxito en transición energética y viticultura sostenible

La transición energética en la viticultura ha dejado de ser una tendencia pasajera y se ha convertido en un eje estratégico que define la competitividad y sostenibilidad del sector vinícola a nivel global. Cada vez más bodegas, conscientes del impacto del cambio climático y los requisitos regulatorios, están adoptando energías renovables, soluciones digitales para la eficiencia energética y modelos circulares destinados a reducir su huella de carbono, optimizar el uso de los recursos y garantizar su viabilidad a largo plazo (Organización Internacional de Viñedos y Vinos [OIV], 2021; IWCA, 2022).

Esta sección analiza casos reales en Europa, América y Oceanía, así como la incorporación de **la agrovoltaica**, una tecnología disruptiva que combina la producción agrícola y la generación de energía solar, redefiniendo la gestión de los viñedos.

1. España: liderazgo en descarbonización y agrovoltaica

Familia Torres, una de las bodegas más reconocidas de Cataluña, se ha consolidado como líder mundial en la lucha contra el cambio climático en el sector vinícola. A través de su **programa Torres & Earth**, lanzado en 2008, la empresa ha implementado una estrategia integral de descarbonización basada en tres pilares: eficiencia energética, energías renovables y regeneración ecológica del suelo. Entre sus principales acciones se encuentra la instalación de **12.000 m² de paneles fotovoltaicos** capaces de generar **2,5 GWh al año**, lo que cubre aproximadamente **el 30% de la demanda eléctrica** de sus bodegas. Esta generación se complementa con el uso de **calderas de biomasa que aprovechan brotes de vid y restos de poda**, creando un sistema circular que sustituye a los combustibles fósiles. Además, Torres ha invertido en **proyectos de captura atmosférica de CO_2** y en la recuperación de suelos degradados mediante prácticas regenerativas, logrando una **reducción acumulada del 34% en sus emisiones de gases de efecto invernadero desde 2008**. Este compromiso les ha valido el reconocimiento como **miembros de oro de International Wineries for Climate Action (IWCA)** y un ahorro energético anual estimado de **450.000** euros.

También en España, el centenario González Byass ha asumido un firme compromiso con la energía limpia en sus bodegas de Jerez de la Frontera (Andalucía). La empresa ha instalado **tejados fotovoltaicos con una capacidad de 2 MW**, que suministran una parte significativa de su demanda eléctrica. Al mismo tiempo, ha llevado a cabo una automatización integral de sus sistemas de aire acondicionado y ventilación, lo que ha supuesto **una reducción de alrededor del 40% en el consumo de energía fósil** (Comisión Europea, 2022). Estas medidas forman parte de su estrategia corporativa para lograr la neutralidad climática para 2040.

España también se está consolidando como uno de los países pioneros en la aplicación de **agrovoltaicos en viñedos**, gracias a proyectos promovidos por entidades como Repsol, el proyecto SMART PVwine y SOLARWINE. Estas iniciativas combinan **paneles solares bifaciales y semitransparentes instalados en los viñedos**, gestionados por **gemelos digitales y sistemas de control** inteligentes. Los objetivos son ambiciosos:

reducir el impacto climático en el viñedo, generar ingresos adicionales a partir de la venta de excedentes de energía y **validar modelos agronómicos compatibles con el cambio climático** (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 2023). Los resultados preliminares indican reducciones notables en el estrés térmico y el consumo de agua en viñedos bajo paneles, lo que apunta a una vía estratégica de desarrollo para el país.

2. Francia: neutralidad de carbono y tecnología agrícola avanzada

Château Larose-Trintaudon, situado en la región de Burdeos, es uno de los viñedos más grandes de la zona con **190 hectáreas** y recientemente ha alcanzado **la certificación de neutralidad de** carbono. Este logro ha sido posible gracias a un enfoque innovador basado en la monitorización **digital del consumo energético mediante sensores IoT integrados en plataformas BMS**, la contratación de **electricidad 100% renovable mediante contratos PPA (Contrato de Compra de Energía)** y la generación fotovoltaica in situ. Además, las prácticas agroecológicas reducen el uso de productos químicos y promueven la biodiversidad en el viñedo. Estas medidas han permitido una **reducción del 18% en el consumo total de energía**, en gran parte gracias al uso de algoritmos de inteligencia artificial para **la optimización térmica de las instalaciones**, además **de la compensación total de emisiones residuales mediante proyectos forestales certificados**.

En la región de Languedoc, la bodega Château Maris se ha convertido en un ejemplo de arquitectura ecológica y eficiencia energética. Su bodega, construida con materiales naturales como **cáñamo y cal**, funciona íntegramente con **energía solar, biomasa y electricidad procedente de fuentes renovables** certificadas. Además, ha obtenido **la certificación B Lab (B-Corp)** por su desempeño medioambiental, social y económico, y ha logrado posicionarse en **mercados premium donde obtiene hasta un 15% más de valor para sus** vinos de baja huella de carbono (Wine Spectator, 2022).

Francia también ha dado pasos decisivos en agrovoltaica. En Occitania, el viñedo Domaine de Nidolères participa en el programa Sun'Agri, donde **se cultivan 4,5 hectáreas de viñedos bajo paneles fotovoltaicos dinámicos que se orientan automáticamente según la radiación solar y la humedad ambiente**. Los resultados son impresionantes: una **reducción del 70% en las necesidades de riego**, aumentos de rendimiento entre **el 20 y el 60%,** y mejoras en la calidad de la uva gracias a una maduración más lenta y equilibrada (INRAE, 2022). Esto convierte a Francia en un referente europeo en viticultura resiliente al clima.

3. Italia: cooperativas comunitarias de energía y agrarias

En la Toscana, la histórica Cantina Gabbiano ha modernizado completamente su sistema energético, instalando **1,8 MW de paneles solares** que proporcionan alrededor **del 70% de su consumo anual de electricidad**. Esta generación se combina con **bombas de calor geotérmicas para aire acondicionado**, lo que ha reducido **los costes energéticos relacionados con la temperatura de las instalaciones en un 45%.** Gracias a estas medidas, la bodega ha logrado evitar la emisión de aproximadamente

450 toneladas de CO_2 cada año y ha recuperado su inversión en solo cinco años, apoyada por subvenciones del Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza (PNRR).

Más al norte, el Consorzio Vini del Trentino reúne **a más de 3.000 viticultores en Trentino-Alto** Adigio y se ha convertido en un ejemplo de cómo la cooperación puede acelerar la transición energética en las zonas rurales. El consorcio ha promovido la instalación **de calderas colectivas de biomasa que reutilizan orujo y brotes de vid**, lo que ha reducido **los costes energéticos en un 30%** y **ha cerrado el ciclo de residuos agrícolas**, transformando los residuos en energía limpia (Comisión Europea, 2021).

Italia también está desarrollando proyectos agrícolas comunitarios. Uno de los más emblemáticos es el **proyecto Vigna Agrivoltaica di Comunità – La Svolta**, en Puglia, donde **se han instalado 7.770 paneles de película fina con una potencia de 970 kW en los viñedos**. Este sistema ha permitido **retrasar la cosecha entre 3 y 4** semanas, favoreciendo una **maduración más lenta y equilibrada**, además de reducir el **estrés hídrico de las plantas en un 20%.** Las uvas obtenidas muestran **mayor acidez y menor concentración de** azúcares, lo que permite **vinos más frescos adecuados para espumosos**, abriendo nuevas oportunidades de mercado en un contexto de calentamiento global.

4. Chile: gemelos digitales y eficiencia energética a gran escala

La multinacional Concha y Toro, líder en la industria vinícola en América Latina, ha desarrollado un **plan integral de sostenibilidad energética** que combina generación renovable, digitalización y eficiencia. La empresa ha instalado **parques solares en Maule y Colchagua capaces de producir 3 GWh/**año, y ha sustituido sus antiguas calderas por **sistemas de biomasa que aprovechan los subproductos** agrícolas. Además, ha implementado un **gemelo digital que modela en tiempo real el comportamiento energético y hídrico de sus plantas** de producción, lo que permite optimizar el consumo y planificar con precisión las operaciones. Como resultado, ha **logrado reducir el consumo eléctrico por litro de vino producido en un 10% y las emisiones indirectas de alcance 2 en un 30%,** siendo reconocida con el **Sello de Eficiencia Energética del Gobierno de Chile** (2021). Este enfoque pionero está siendo replicado por otras bodegas del país.**5. Estados Unidos: Jackson Family Wines y energía solar inteligente**

5. Estados Unidos: Almacenamiento solar inteligente y distribuido

En California, Jackson Family Wines ha elevado la eficiencia energética a otro nivel al integrar tecnologías de predicción, generación renovable y almacenamiento inteligente. La empresa ha instalado 12 MW de paneles fotovoltaicos, que cubren el 60% de su demanda energética durante los periodos punta (cosecha), reduciendo drásticamente la dependencia de la red eléctrica. Esta capacidad se complementa con un sistema de baterías Tesla Powerpack que almacena energía en horas poco valle y la libera durante la demanda punta, mientras que los algoritmos de inteligencia artificial ajustan dinámicamente la carga del equipo industrial. Estas innovaciones han permitido reducir 12.000 toneladas de CO_2 al año y ahorrar económicamente 2,5

millones de dólares al año, alcanzando así su objetivo corporativo de neutralidad de carbono para 2030 con antelación (IWCA, 2022).

3.2. Análisis comparativo de modelos sostenibles en viticultura

El análisis comparativo de los diferentes modelos de sostenibilidad implementados en viticultura nos permite entender cuáles son las estrategias más efectivas en términos de **coste, impacto medioambiental, retorno de la inversión (ROI)** y **aceptación social**. Esta sección presenta los principales **enfoques adoptados por bodegas de renombre internacional**, comparando sus características clave: **tecnología aplicada, inversión inicial, ahorro, reducción de emisiones y cobeneficios**.

1. Energía fotovoltaica vs. biomasa: impacto y viabilidad

La energía solar fotovoltaica es la tecnología más extendida en las bodegas, gracias a la alta radiación en las regiones vinícolas. Ejemplo:

- **Jackson Family Wines (EE.UU.):** 12 MW instalados, inversión estimada de 14 millones de USD, con un ahorro anual de 2,5 millones de USD y una reducción de **12.000 t de CO_2/año** (IWCA, 2022).
- **Cantina Gabbiano (Italia):** 1,8 MW instalados, ROI en 5 años, generación del 70% de la demanda energética (Comisión Europea, 2021).

En cambio, la **biomasa vinícola** aprovecha subproductos como brotes de vid, semillas y porcel, reduciendo los costes de eliminación y cerrando el ciclo circular. Casos:

- **Torres (España):** calderas de biomasa que cubren la calefacción de la bodega, reduciendo **200 t CO_2/año**.
- **Consorzio Vini del Trentino**: Modelo cooperativo que reduce las facturas de energía en **un 30%.**

Conclusión comparativa:

- **La fotovoltaica** tiene un alto coste inicial pero un retorno de inversión más rápido (5-7 años), mientras que la biomasa es más accesible y aporta beneficios adicionales en la economía circular.
- En regiones con abundantes residuos y menos radiación solar, la biomasa es más eficiente; En zonas soleadas, predominan las fotovoltaicas.

2. Sistemas híbridos: combinación de solar + geotérmica + almacenamiento

Los **sistemas** híbridos integran múltiples fuentes para estabilizar el suministro. Ejemplo:

- **Château Maris (Francia)** combina energía solar, biomasa y almacenamiento térmico, logrando **una autonomía energética del 95%.**

- Incorporación de **baterías Tesla Powerpack en California**, que permite equilibrar los picos de consumo y reducir la dependencia de la red eléctrica.

Beneficios:

- Cobertura constante incluso en periodos de baja radiación solar.
- Alto coste inicial (inversión de más de 500.000 € en bodegas de tamaño medio) pero reducción total del gasto energético.

3. Inteligencia artificial (IA) para la eficiencia energética

La digitalización aplicada a la gestión energética representa un salto cualitativo en sostenibilidad. Casos:

- **Concha y Toro (Chile)** utiliza **gemelos digitales** para simular escenarios energéticos, logrando una **reducción del 10% en el consumo eléctrico por litro** producido.
- **Torres (España)** aplica **IA predictiva** para gestionar la refrigeración de los tanques, optimizando el uso de energías renovables.

Ventajas sobre los modelos tradicionales:

- Ahorros energéticos adicionales del **10-15%** sin grandes inversiones en hardware.
- Mejora de la trazabilidad y la toma de decisiones para evitar sobrecostes.

4. Certificaciones y valor comercial: efecto en el precio del vino

El impacto económico de la sostenibilidad no solo se mide en el ahorro energético, sino también en **el valor añadido para el consumidor**:

- Las bodegas certificadas como **carbono neutro** (por ejemplo, Château Larose-Trintaudon) han logrado posicionar vinos con un **aumento del 10-15** % en mercados premium (Wine Spectator, 2022).
- Programas como **B-Corp** o **IWCA Gold Member** facilitan la entrada en cadenas internacionales y aumentan la reputación de la marca.

5. Comparación entre el ROI (retorno de inversión) y los beneficios medioambientales

Tabla 1. Elaboración de los autores basada en IWCA (2022), Torres (2021), Comisión Europea (2021).

Tecnología	Inversión inicial (€)	ROI	Reducción de CO_2/año	Otros beneficios
Fotovoltaica (1 MW)	700.000 – 1.000.000	5-7 años	1.000 – 1.500 t	Autonomía parcial, imagen verde

Tecnología	Inversión inicial (€)	ROI	Reducción de CO_2/año	Otros beneficios
Biomasa (caldera 500 kW)	250.000 – 400.000	3-4 años	200 – 300 t	Recuperación de residuos
Geotermia (bodega mediana)	150.000 – 300.000	4-6 años	150 – 250 t	Estabilidad térmica
IA para eficiencia	50.000 – 100.000	2 años	50 – 100 t	Optimización digital

Conclusión del análisis comparativo

El modelo más rentable para bodegas pequeñas y medianas es la **fotovoltaica combinada con biomasa**, complementada por **IA para la gestión energética**. Las grandes bodegas pueden incorporar **almacenamiento y geotermia**, logrando la neutralidad de carbono. La clave radica en la **flexibilidad del sistema y el acceso a la ayuda pública**, que puede reducir la inversión entre **un 40 y un 60%.**

3.3. Impacto económico y medioambiental de la transición energética en las bodegas

La transición energética en la viticultura y la elaboración de vino no solo implica un cambio tecnológico, sino también una **profunda transformación en la estructura de costes, el posicionamiento comercial y la huella ambiental del** sector. Esta sección aborda los principales impactos desde una doble perspectiva: **económico (costes, ahorro, retorno de la inversión)** y **medioambiental (reducción de emisiones, eficiencia de los recursos),** basándose en estudios recientes y estudios de caso.

1. Impacto económico: costes y retorno de la inversión (ROI)

La adopción de tecnologías renovables y la eficiencia energética suponen un **reto financiero inicial**, especialmente para las bodegas pequeñas, donde la inversión puede oscilar entre **50.000 y más de 1.000.000 €**, dependiendo de la escala y las tecnologías integradas (Comisión Europea, 2021).

Distribución estimada de la inversión por tecnología

- **Paneles solares fotovoltaicos (1 MW):** 700.000 – 1.000.000 €
- **Calderas de biomasa (500 kW):** 250.000 – 400.000 €
- **Geotermia para aire acondicionado:** 150.000 – 300.000 €
- **Almacenamiento eléctrico (baterías):** 200.000 – 350.000 €
- **IA y sistemas de gestión energética:** 50.000 € – 100.000 €

El **ROI (retorno de inversión)** depende de la combinación tecnológica, el consumo energético y las subvenciones disponibles. Según **International Wineries for Climate Action (IWCA, 2022)** y **Torres (2021):**

- **Fotovoltaica:** Vuelve en **5-7 años** gracias al autoconsumo y la venta de excedentes.
- **Biomasa:** ROI en **3-4 años**, además de reducir los costes de gestión de residuos.
- **IA y optimización energética:** Retorno rápido, en **1-2 años**, debido a una reducción en el consumo eléctrico (10-15%).

En bodegas que combinan tecnologías, se **reportan ahorros del 25-35% en facturas** eléctricas y una **reducción del 30% en los costes energéticos globales**, liberando capital para la innovación y la comercialización (García et al., 2022).

2. Impacto medioambiental: reducción de la huella de carbono

La elaboración tradicional de vino tiene una huella de carbono estimada entre **1,5 y 2,0 kg de CO_2 por botella de vino** (Delmotte et al., 2020). La implantación de energías renovables puede reducir significativamente estas emisiones:

- **Fotovoltaica:** -40% de la huella energética eléctrica.
- **Biomasa:** -15-20% adicional al sustituir los combustibles fósiles.
- **Sistemas híbridos (solar + biomasa + almacenamiento):** -70-80% en emisiones energéticas.
- **IA y digitalización:** reducción indirecta del 10% debido a la optimización de procesos.

Ejemplo cuantitativo

- Una bodega con **una producción de 500.000 botellas al año** y un consumo eléctrico de **1,2 GWh/año**:
    - Antes: Emisiones de 550 toneladas de CO_2/año procedentes de la energía.
    - Tras la integración de la fotovoltaica (70% de cobertura): reducción de 385 t CO_2/año.
    - Incorporación de biomasa para calefacción: reducción adicional de 90 t CO_2/año.
    - Total: Reducción de más del **85** % en la huella energética.

Este nivel de mitigación permite a las bodegas optar por **certificaciones medioambientales (Carbono Neutral, ISO 14001),** aumentando la competitividad y el acceso a mercados premium (Wine Spectator, 2022).

3. Impacto en la competitividad y el valor comercial

La sostenibilidad energética no solo reduce costes y emisiones, sino que también **genera valor económico directo**:

- **Precios premium:** Los vinos certificados como sostenibles se venden **entre un 10 y un 20% más caros**, especialmente en mercados de EE. UU. y el norte de Europa (Wine Intelligence, 2021).
- **Atraer inversión y financiación verde:** Fondos como **NextGeneration EU** cubren hasta **un 40-60% de la inversión inicial**, acelerando la transición (Comisión Europea, 2021).
- **Lealtad del consumidor:** El 66 % de los compradores de vino en la UE consideran la sostenibilidad un criterio clave de compra (OIV, 2022).

4. Barreras y soluciones económicas

- **Altos costes iniciales:** Solución: modelos **de energía SaaS** (Energía como Servicio) y **PPA (Acuerdos de Compra de Energía).**
- **Acceso desigual a la financiación:** Las cooperativas y los clústeres vinícolas pueden negociar compras colectivas para reducir costes en **un 20-30%.**
- **Falta de datos reales de retorno: Sistemas de monitorización continua (IoT + IA)** que generan informes financieros y medioambientales para justificar inversiones.

Tabla resumen de impacto económico y medioambiental

Medida	Reducción de CO_2	Ahorro anual (%)	ROI estimado
Fotovoltaica	40 %	20-25 %	5-7 años
Biomasa	15-20 %	15 %	3-4 años
IA y digitalización	10% (indirecto)	8-12 %	1-2 años
Sistemas híbridos	70-80 %	30-40 %	7-10 años

Referencias

- Abad, J., Marqués, M. J., & Álvaro-Fuentes, J. (2021). Conservación del suelo en viñedos: una revisión global. Agronomía para el Desarrollo Sostenible, 41(45), 1–22.

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Evapotranspiración de cultivos: Directrices para calcular los requisitos de agua de cultivos (FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56). FAO. https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e00.htm

- Almeida, W. S., Paredes, P., Basto, J., Pôças, I., Pacheco, C. A., & Paço, T. A. (2024). Estimación de la evapotranspiración de uvas de vino de secano combinando teledetección y el modelo de balance hídrico del suelo SIMDualKc. Agua, 16(18), 2567. https://doi.org/10.3390/w16182567

- Altieri, M. A., & Nicholls, C. I. (2017). Enfoques tecnológicos para la agricultura sostenible en una encrucijada: una perspectiva agroecológica. Sostenibilidad, 9(3), 349. https://doi.org/10.3390/su9030349

- Bàrberi, P., Burgio, G., Dinelli, G., Moonen, A. C., Otto, S., Vazzana, C., & Zanin, G. (2010). Biodiversidad funcional en el paisaje agrícola: Relaciones entre malas hierbas y fauna de artrópodos. Investigación sobre las malas hierbas, 50, 388–401. https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2010.00798.x

- Bavaresco, L., Gatti, M., Fregoni, M., & Pezzutto, S. (2016). Portainjertos de vid: Efectos en la viticultura y el medio ambiente. Acta Horticulturae, 1136, 41–50. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2016.1136.6

- Biddoccu, M., Ferraris, S., Pitacco, A., Cavallo, E., & Comolli, R. (2016). Mediciones de precipitaciones y escorrentía en los viñedos en laderas: Evaluación de medidas de control de inundaciones y erosión del suelo. Revista Australiana de Investigación sobre la Uva y el Vino, 22(1), 54–67. https://doi.org/10.1111/ajgw.12173

- Bindi, M., & Olesen, J. E. (2011). Las respuestas de la agricultura en Europa al cambio climático. Cambio Ambiental Regional, 11(1), S151–S158. https://doi.org/10.1007/s10113-010-0173-x

- Bordelon, B. P., Bates, T. R., & Morris, J. R. (2020). Gestión del suelo y su impacto en el crecimiento de la vid y la calidad de los frutos. American Journal of Enology and Viticulture, 71(2), 123–134. https://doi.org/10.5344/ajev.2020.19054

- Brunori, G., Cerruti, A., & Corsi, S. (2020). Balance de carbono y potencial de mitigación del sector vinícola. Journal of Cleaner Production, 271, 122645. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122645

- Celette, F., Gaudin, R., & Gary, C. (2008). Cambios espaciales y temporales en el régimen hídrico de un viñedo mediterráneo debido a la adopción de cultivos de cobertura. European Journal of Agronomy, 29, 153–162. https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.04.007

- Celette, F., Gaudin, R., & Gary, C. (2009). Competencia por nitrógeno en un sistema de intercultivo no fertilizado. European Journal of Agronomy, 30, 41–51. https://doi.org/10.1016/j.eja.2008.07.003

- Delmotte, F., Corio-Costet, M. F., & Delière, L. (2020). Gestión integrada de enfermedades y reducción del uso de pesticidas en la viticultura. Ciencia del Medio Ambiente Total, 731, 139269. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139269

- Er-Raki, S. (2024). Uso de AquaCrop para el riego y la evaluación de la productividad hídrica de uvas de mesa. Web de conferencias E3S, 489, 04011. https://doi.org/10.1051/e3sconf/202448904011

- Comisión Europea. (2021a). Estrategia de suelos de la UE para 2030. https://environment.ec.europa.eu/publications/eu-soil-strategy-2030_en

- Comisión Europea. (2021b). Transición verde en las bodegas de la UE: energías renovables y sostenibilidad. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.

- Comisión Europea. (2022). Tecnologías digitales para la eficiencia energética en el sector vinícola. Centro de Ciencia de la UE.

- FAO. (2017). El futuro de la alimentación y la agricultura – Tendencias y desafíos. https://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf

- Gambetta, G. A., Herrera, J. C., Dayer, S., Feng, Q., Hochberg, U., & Castellarin, S. D. (2020). La fisiología del estrés por sequía en la vid. Journal of Experimental Botany, 71(16), 4658–4676. https://doi.org/10.1093/jxb/eraa245

- García, L., Miñarro, M., Martínez-Sastre, R., & García, D. (2018). Cubiertas del suelo y biodiversidad en los viñedos mediterráneos. Agricultura, Ecosistemas y Medio Ambiente, 267, 100–111. https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.017

- García, M., Hernández, L., & Santesteban, L. G. (2022). Gemelos digitales en la viticultura. Agronomía, 12(4), 856. https://doi.org/10.3390/agronomy12040856

- Hueso-González, P., Martínez-Murillo, J. F., y Ruiz-Sinoga, J. D. (2016). Efectos de los tratamientos superficiales del suelo en un clima mediterráneo seco. Tierra Sólida, 7(5), 1479–1489. https://doi.org/10.5194/se-7-1479-2016

- Viñas Internacionales para la Acción Climática (IWCA). (2022). Mejores prácticas para la descarbonización en la producción vinícola [Informe técnico].

- Intrigliolo, D. S., & Castel, J. R. (2011). Efectos interactivos del riego deficitario y el adelgazamiento de brotes y racmos. Irrigation Science, 29(6), 443–452. https://doi.org/10.1007/s00271-010-0258-y

- Ismail, S. M. (2025). Biofertilizantes y mejora del carbono en suelos en viñedos mediterráneos. Revista de Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal, 25(3), 1023–1037. https://doi.org/10.1007/s42729-025-01234-9

- Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R., & Storchmann, K. (2010). Cambio climático y calidad global del vino. Cambio climático, 73(3), 319–343. https://doi.org/10.1007/s10584-005-4704-2

- Jones, H. G. (2004). Planificación del riego: ventajas y desventajas. Journal of Experimental Botany, 55(407), 2427–2436. https://doi.org/10.1093/jxb/erh213

- Kumar, P. (2022). Aplicación de sensores de flujo de savia para la programación de riego. Fronteras en Ciencia de las Plantas, 13, 1021387. https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1021387

- Lal, R. (2004). El impacto de la captura de carbono en el suelo en el cambio climático global. Science, 304, 1623–1627.

- Lal, R. (2020). Materia orgánica en el suelo y retención de agua. Agronomy Journal, 112(5), 3755–3768. https://doi.org/10.1002/agj2.20282

- Lehmann, J., & Joseph, S. (2015). Biochar para la gestión ambiental (2ª ed.). Routledge.

- López-Vicente, M., Álvarez, S., & Marqués, M. J. (2020). Conservación del suelo y del agua en viñedos inclinados. Gestión del Agua Agrícola, 240, 106267. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106267

- Lucchetta, M., Rossi, F., & Rombolà, A. D. (2025). Evaluación de residuos de poda y compost de bodega. Fronteras en sistemas alimentarios sostenibles, 9, 1504761. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1504761

- Malvoni, M., Congedo, P., & Laforgia, D. (2017). Análisis del consumo energético: un estudio de caso de una bodega italiana. Energy Procedia, 126, 227–233. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.144

- Martínez-Casasnovas, J. A., Escolà, A., & Ramos, M. C. (2012). Zonas de gestión específicas del lugar en viticultura de precisión. Agricultura de precisión, 13, 622–638.

- Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Escalona, J. M., Pou, A., Fuentes, S., & Bota, J. (2015). Mejorar la eficiencia del uso del agua en los viñedos. Agronomía para el Desarrollo Sostenible, 35, 499–517. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0280-z

- Mirás-Avalos, J. M., Trigo-Córdoba, E., & Buesa, I. (2021). Optimización de la gestión del agua en viñedos. Agua, 13(6), 746. https://doi.org/10.3390/w13060746

- Morlat, R., & Symoneaux, R. (2008). Efecto a largo plazo de los sistemas de gestión del suelo. Vitis, 47(4), 201–208.

- Pardo, G., Moral, R., Aguilera, E., & del Prado, A. (2019). Emisiones de GEI y potencial de mitigación en la agricultura española. Ciencias y Políticas Ambientales, 94, 119–129. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.12.020

- Pattara, C., Raggi, A., & Cichelli, A. (2012). Evaluación del ciclo de vida y huella de carbono en la cadena de suministro del vino. Gestión Medioambiental, 49(6), 1247–1258. https://doi.org/10.1007/s00267-012-9844-3

- Ripoche, A., Metay, A., Celette, F., & Gary, C. (2011). Cambio en la gestión superficial del suelo en los viñedos. Plant and Soil, 339, 259–271. https://doi.org/10.1007/s11104-010-0573-1

- Ruiz-Colmenero, M., Bienes, R., & Marqués, M. J. (2013). Dilemas de conservación del suelo y del agua en viñedos empinados. Investigación sobre suelos y laboreo, 126, 111–118. https://doi.org/10.1016/j.still.2012.09.006

- SARE. (2022). Gestión rentable de los cultivos de cobertura (3ª ed.). USDA. https://www.sare.org/resources/managing-cover-crops-profitably/

- Van Leeuwen, C., & Darriet, P. (2016). El impacto del cambio climático en la viticultura y la calidad del vino. Revista de Economía del Vino, 11(1), 150–167. https://doi.org/10.1017/jwe.2016.7

- Van Leeuwen, C., Destrac-Irvine, A., Dubernet, M., Duchêne, E., Gowdy, M., Marguerit, E., Pieri, P., Parker, A., de Rességuier, L., & Schultz, H. (2019). Impacto del cambio climático en la viticultura. Bulletin de l'OIV, 92, 1–27.
- Inteligencia del vino. (2021). Tendencias de vino premium y sostenibilidad: Perspectivas globales de los consumidores. Serie de Investigación sobre Inteligencia del Vino.

- Wine Spectator. (2022). Vino sostenible: impacto en el mercado y preferencias de los consumidores. Informe de Wine Spectator Opinions.

- Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017). Big data en la agricultura inteligente: una revisión. Sistemas agrícolas, 153, 69–80. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023

Anexo I – Revisión de Cuestiones

Bloque 1: Prácticas ecológicas en la viticultura

1. Explica el papel de la materia orgánica en la fertilidad del suelo y la capacidad de retención de agua en los viñedos.
2. ¿Qué efectos tiene la labranza intensiva en la estructura del suelo y la biodiversidad microbiana?
3. Compara ventajas y desventajas de usar cubiertas verdes frente a suelos desnudos en climas mediterráneos.
4. ¿Cómo contribuye la biodiversidad funcional al control biológico de las plagas en los viñedos?
5. Cita tres prácticas que aumentan la biodiversidad funcional en un viñedo y describe cómo promueven su resiliencia.

Bloque 2: Eficiencia del Agua

1. Define el concepto de déficit hídrico controlado (IDR) y sus efectos en la calidad del vino.
2. Explica las ventajas de los sensores de humedad del suelo frente a la programación fija de riego.
3. Describe brevemente el modelo AquaCrop y su utilidad en la viticultura.
4. ¿Qué aportan las redes de sensores basadas en Internet de las Cosas (IoT) a la gestión del agua?
5. Relaciona el ahorro de agua con el ahorro energético en la viticultura.

Bloque 3: Biodiversidad en el viñedo

1. Define el concepto de biodiversidad funcional y su importancia en la viticultura sostenible.
2. ¿Cómo influye el monocultivo intensivo en la aparición de plagas y enfermedades?
3. Explique el papel de los setos y los corredores ecológicos en la conservación de la fauna auxiliar.
4. Menciona tres beneficios ecológicos directos de implementar coberturas verdes en los viñedos.
5. ¿Qué barreras socioeconómicas pueden dificultar la adopción de prácticas de promoción de la biodiversidad?

Bloque 4: Uso sostenible de la energía

1. ¿Cuál es el porcentaje aproximado de los costes energéticos en la viticultura convencional según la Organización Internacional de Viñedos y Vinos (OIV)?
2. Explica dos tecnologías que mejoran la eficiencia energética en el riego de viñedos.
3. Describe el funcionamiento básico de una instalación fotovoltaica y sus principales ventajas en la viticultura.
4. ¿Qué aporta una auditoría energética a la transición de un viñedo a energías renovables?
5. Define un sistema energético híbrido y pon un ejemplo aplicado en bodegas.

Bloque 5: Transición energética en la industria vinícola

1. Identifica las etapas del ciclo del vino que concentran el mayor consumo energético y las emisiones de GEI.
2. Explica el concepto de huella de carbono y la diferencia entre los ámbitos 1, 2 y 3 según el Protocolo de GEI.
3. Menciona tres estrategias para reducir la huella de carbono de una bodega y su impacto medioambiental.
4. ¿Cuáles son las ventajas de la certificación de International Wineries for Climate Action (IWCA)?
5. Define qué es la agrivoltaica y explica cómo puede aplicarse en los viñedos.

Anexo II – Actividad Didáctica: "Diseñar un viñedo sostenible"

Formarás parte del equipo técnico de una bodega que quiere transformar su viñedo convencional en un sistema de producción sostenible, eficiente y resiliente frente al cambio climático. Para ello, debes diseñar un plan agroecológico y de transición energética, aplicando los conocimientos estudiados en el módulo sobre suelo, agua, biodiversidad, energía y mitigación del cambio climático.

Información inicial del viñedo ficticio

- **Ubicación:** zona interior con clima mediterráneo semiárido
- **Superficie:** 25 hectáreas de viñedos enrejados
- **Suelo:** textura arenosa-argilosa, escasez de materia orgánica, signos de erosión
- **Gestión actual:** labranza intensiva, sin coberturas vegetales, fauna auxiliar escasa
- **Agua:** riego por aspersor, sin sensores, alto consumo e ineficiencia
- **Fertilidad:** uso de fertilizantes químicos sintéticos y fitosanitarios
- **Energía:** dependencia total de la electricidad y diésel de la red eléctrica para la maquinaria
- **Emisiones:** altas emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)
- **Costes:** aumento de las facturas energéticas y baja eficiencia de los recursos

Tu misión es elaborar un plan de transición sostenible para el viñedo, que debe incluir las siguientes secciones:

1. Gestión del suelo y fertilidad

- **Proponer estrategias para mejorar la salud y fertilidad del suelo (por ejemplo, cobertura vegetal, reducción de laboreo, compost o biofertilizantes).**
- **Explica cómo cada medida mejora las propiedades del suelo y su relación con la calidad de la uva.**

2. Gestión eficiente del agua

- **Diseñar un sistema de riego nuevo y más eficiente (por ejemplo, goteo, riego por déficit controlado, sensores de humedad, modelo AquaCroup).**
- **Indica cómo tus decisiones pueden reducir el consumo de agua y el gasto energético asociado.**

3. Biodiversidad funcional

- **Proponer acciones para promover la biodiversidad (por ejemplo: setos, corredores verdes, cajas nido, plantas auxiliares).**

- Explica cómo estas acciones contribuyen al control natural de plagas y a la resiliencia de los viñedos.

4. Transición energética

- Proponer medidas para reducir el consumo energético y sustituir las fuentes fósiles por otras renovables (por ejemplo, fotovoltaica, biomasa, geotérmica, sistemas híbridos).
- Explique cómo estas medidas pueden mejorar la autosuficiencia y reducir las emisiones de GEI.

5. Estrategia climática y valor de mercado

- Indica cómo tu propuesta ayudará a reducir la huella de carbono de la bodega (teniendo en cuenta los ámbitos 1, 2 y 3 del Protocolo de GEI).
- Elige una o dos certificaciones medioambientales o de sostenibilidad (por ejemplo, International Wineries for Climate Action o B Lab) que la bodega pueda obtener y explica cómo mejorarían su imagen de marca y el acceso a mercados premium.