

El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático

Estrategias públicas y privadas de mitigación y adaptación en el Mediterráneo

Raúl Compés López
Vicente Sotés Ruiz
(coordinadores)

**El sector vitivinícola
frente al desafío del cambio climático**

**Estrategias públicas y privadas
de mitigación y adaptación
en el Mediterráneo**

El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático

Estrategias públicas y privadas de mitigación y adaptación en el Mediterráneo

**Raúl Compés López
Vicente Sotés Ruiz
(Coordinadores)**



El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático. Estrategias públicas y privadas de mitigación y adaptación en el Mediterráneo

© 2018 del texto y las imágenes que se reproducen (excepto mención expresa): los autores

© 2018 de la edición: Cajamar Caja Rural

Edita: Cajamar Caja Rural
www.publicacionescajamar.es
publicaciones@cajamar.com

ISBN-13: 978-84-95531-92-6

Depósito Legal: AL-2672-2018

Diseño y maquetación: Beatriz Martínez Belmonte

Fecha de publicación: diciembre de 2018

© **Imagen de cubierta:** Raúl Compés López

Impreso en España / *Printed in Spain*

Cajamar Caja Rural no se responsabiliza de la información y opiniones contenidas en esta publicación, siendo responsabilidad exclusiva de sus autores.

© Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta publicación, así como la edición de su contenido por medio de cualquier proceso reprográfico o fónico, electrónico o mecánico, especialmente imprenta, fotocopia, microfilm, offset o mimeógrafo, sin la previa autorización escrita de los titulares del Copyright.

PRESENTACIÓN	9
--------------------	---

Introducción	11
--------------------	----

Raúl Compés López y Vicente Sotés Ruiz

PARTE I. ENFOQUE TERRITORIAL E INSTITUCIONAL

Capítulo 1. Impacts on the vitiviniculture geography in the world and in Portugal.....	21
--	----

João Andrade Santos, Helder Fraga, José Moutinho-Pereira and Aurelian C. Malheiro

Capítulo 2. Impactos y adaptación al cambio climático en España	45
---	----

Vicente Sotés Ruiz

Capítulo 3. El proyecto LACCAVE. Adaptación del sector vitivinícola francés al cambio climático	65
---	----

Iñaki García de Cortázar Atauri, Nathalie Ollat y Jean Marc Touzard

Capítulo 4. Impacts of climate change on the wine sector in Italy and mitigation and adaptation strategies.....	91
---	----

Antonio Seccia and Fabio Gaetano Santeramo

Capítulo 5. Adaptation of viticulture to climate change in Australia.....	117
---	-----

Peter Hayes

Capítulo 6. La nueva geografía mundial del vino en un escenario de cambio climático	137
---	-----

Pedro Ballesteros

Capítulo 7. La viticultura mediterránea en España frente al cambio climático	155
--	-----

Raúl Compés López y Francesc J. Cervera Ferrer

Capítulo 8. Acciones de la OIV respecto al cambio climático y la sostenibilidad	175
---	-----

Mario de la Fuente

PARTE II. ENFOQUES PRODUCTIVO, TECNOLÓGICO Y EMPRESARIAL

Capítulo 9. Manejo integral del viñedo para hacer frente al cambio climático. Uso eficiente del riego y otras prácticas agronómicas	193
---	-----

Diego S. Intrigliolo, Felipe Sanz, Antonio Yeves, Alejandro Martínez e Ignacio Buesa

Capítulo 10. Desafíos de los regadíos españoles frente al cambio climático y consecuencias para el viñedo	221
---	-----

Martín Ruiz-Rodríguez, Manuel Pulido-Velázquez y Alberto García-Prats

Capítulo 11. Adaptación del material vegetal y efectos sobre las enfermedades de la madera	245
<i>Josep Armengol y David Gramaje</i>	
Capítulo 12. Cambio climático y maduración de la uva. Prevención del bloqueo y vinificación de precisión	265
<i>José Pascual Gracia Romeo</i>	
Capítulo 13. Innovación y tecnología enológica frente al cambio climático	289
<i>Pablo Ossorio</i>	
Capítulo 14. La sostenibilidad de las bodegas españolas. Oportunidades de mitigación en materia energética.....	313
<i>Javier Carroquino Oñate</i>	
Capítulo 15. Herramientas de gestión medioambiental para las bodegas. El certificado WFCP y el proyecto/iniciativa PEF Wine.....	337
<i>Estibaliz Torrealba</i>	
Capítulo 16. La vitivinicultura y el cambio climático. La experiencia de Familia Torres	353
<i>Miguel A. Torres</i>	
Epílogo. La política vitivinícola frente al cambio climático	367
<i>Ignacio Atance Muñoz</i>	

Presentación

La aproximación que desde Cajamar Caja Rural hemos hecho hacia el sector agroalimentario siempre ha tenido dos enfoques complementarios e indisolubles. Por un lado hemos intentado ofrecer soluciones, tanto financieras como tecnológicas, para asegurar la viabilidad de las explotaciones agrarias y de los diferentes agentes que intervienen en la cadena. Por otro, hemos buscado que la sociedad en su conjunto se beneficie de una mejor alimentación, de calidad, saludable, respetuosa con el medioambiente y a precios asequibles.

Nuestra fuerte vinculación con el sector nos ha enseñado que los ciclos vitales de las plantas y de los animales requieren, con mucha frecuencia, de largos plazos y que para que algunos alimentos sean capaces de ofrecer experiencias de consumo excepcionales necesitan de muchos años de crianza y maduración.

Bajo esa misma perspectiva somos conscientes de que la viabilidad de los proyectos, y de las trayectorias empresariales, huyen de los beneficios a corto plazo; y, por tanto, se necesitan conocer, planificar y actuar en el medio y largo plazo.

Con esta premisa, desde el Área de Innovación Agroalimentaria estamos especialmente sensibilizados sobre el cambio climático que está afectando al planeta. Y teniendo en cuenta que las condiciones ambientales poseen una influencia decisiva sobre los seres vivos, queremos contribuir, en la medida de nuestras posibilidades, a su análisis para poder actuar sobre los posibles efectos que van a tener sobre las diferentes producciones agrarias.

A partir de ahí, entre todos tendremos que diseñar e implementar acciones para adaptarnos y mitigar dichos cambios. En nuestros centros experimentales estamos trabajando en diversos proyectos que se orientan por ese camino.

A través de nuestro Servicio de Publicaciones llevamos años colaborando con el profesor Raúl Compes, con el que compartimos inquietudes y proyectos sobre cómo mejorar la sostenibilidad del mundo rural y del sector agroalimentario, en general, y del vitivinícola, en particular.

Cuando nos planteó coordinar, junto al profesor Vicente Sotes, un monográfico sobre las consecuencias que el cambio climático puede tener sobre el sector vitivinícola nos pareció una excelente idea, a la que hemos prestado todo nuestro apoyo.

Como bien se indica en varios capítulos de este libro, probablemente el sector más sensibilizado, al que más está afectando y que más acciones está emprendiendo para adaptarse y frenar el calentamiento de la Tierra, sea el vitivinícola. En gran medida las soluciones van a venir desde la tecnología, pero previamente es necesaria una sensibilización y que entre todos adoptemos las conductas necesarias para evitar que el planeta siga incrementando su temperatura media al ritmo de las últimas décadas.

La participación de profesionales de distintos ámbitos, desde la administración, pasando por la académica y llegando a la empresa, y desde distintos países, ha dado lugar a una obra elaborada por más de treinta autores que nos acerca de una manera realista, pero a la vez esperanzadora, a uno de los retos que más relevancia va a tener en la producción de vino para las próximas décadas.

Queremos aprovechar estas líneas para mostrarles a todos ellos nuestro más sincero agradecimiento por el trabajo realizado. Y animamos al lector y a los agentes del sector a seguir trabajando por fortalecer una actividad cuya relevancia supera los aspectos sociales, ambientales y económicos, para adentrar sus raíces en nuestra cultura y nuestra historia.

Roberto García Torrente
Director de Innovación Agroalimentaria
Cajamar Caja Rural

Introducción

Raúl Compés López^a y Vicente Sotés Ruiz^b

^aUniversitat Politècnica de València y ^bUniversidad Politécnica de Madrid

Esta monografía es el resultado de la convergencia de tres preocupaciones. En primer lugar, nuestra preocupación como ciudadanos por los efectos negativos del cambio climático en nuestras vidas y en las de nuestros descendientes; en segundo lugar, nuestra preocupación por su impacto en el sector vitivinícola y, en tercer lugar, nuestra preocupación porque entendemos que se hace menos de lo que se debería frente a la amenaza que representa. Esta obra es nuestra pequeña aportación para luchar contra este problema. Se trata de un ejercicio de responsabilidad tanto personal como social. Como profesores universitarios tenemos acceso privilegiado a un conocimiento, que nos sentimos obligados a compartir con aquellos interesados en un tema tan trascendental. Adicionalmente, nuestra historia familiar está ligada a la viña y al vino. Esto nos hace especialmente sensibles a las preocupaciones de los hombres y mujeres del campo, siempre sufriendo por la cosecha.

Estamos convencidos de que la uva y el vino se adaptarán y sobrevivirán al cambio climático, como siempre lo ha hecho el cultivo de la vid a los retos a los que se ha enfrentado en sus aproximadamente 8.000 años de historia. Sin embargo, lo que nos inquieta es el destino de nuestras viñas, la calidad de nuestros vinos y el futuro de la producción que ha conformado nuestros paisajes y culturas. La pasión por el vino, como la pasión por la música, la pintura o por cualquier otro tipo de arte, es universal, no tiene fronteras, pero la relación afectiva que se establece con la vitivinicultura está ligada a unos territorios y sabores determinados, muchos de los cuales están ahora directamente amenazados.

La elevada sensibilidad de la viticultura al clima y la extraordinaria complejidad del vino hacen que el sector esté siendo pionero en hacer frente a los desafíos del calentamiento global. El alto número de actores afectados y la conciencia creciente por parte de la sociedad de las graves consecuencias que tendría una pérdida sustancial del potencial vitivinícola, y del patrimonio li-

gado a él, explican las múltiples iniciativas que están surgiendo para protegerlo en todos los países perjudicados. Las respuestas del mundo del vino constituyen un test sobre la eficacia de las estrategias de mitigación y adaptación para el resto de sectores. Como se ha afirmado, el vino puede ser «el canario en la mina de carbón de la agricultura».

La producción científica sobre el impacto del cambio climático en el sector vitivinícola ha evolucionado en paralelo con la investigación sobre sus efectos. Si bien los trabajos seminales sobre este fenómeno aparecieron en las décadas de los sesenta (Manabe y Wetherald, 1967) y setenta (Keeling *et al.*, 1976), su efecto en plantas y animales comenzó a ser estudiado a principios del siglo XXI (Parmesan y Yohe, 2003). Justo en esa década se publicaron algunos de los primeros y más citados artículos sobre este tema (Ugaglia y Peres, 2017), especialmente los de Schultz (2000) y Jones *et al.* (2005). Desde entonces, y en particular a raíz de la publicación del 4.º Informe del IPCC en 2007, se ha disparado el número de investigaciones, generando una nueva y vasta área de conocimiento (Holland y Smit, 2010; Marx *et al.*, 2017), lo que demuestra la preocupación que suscita en todos los ámbitos (Mozell y Thach, 2014). El cambio climático también ha influido en el campo de la economía del vino, debido a la elevada influencia de las condiciones ambientales sobre las calidades y los precios, sobre todo en las gamas altas (Ashenfelter, 2008).

Algunos de estos artículos han tenido un eco que ha trascendido al ámbito del mundo académico. Es el caso, en particular, del primer estudio global publicado en la revista PNAS (Hanna *et al.*, 2013), que generó una gran alarma entre los profesionales del sector al pronosticar caídas muy sustanciales —e incluso dramáticas, en algunos casos— de las superficies aptas para la viticultura. Según el citado trabajo, las pérdidas podrían oscilar entre el 25 % y el 73 % en las principales regiones productoras de vino, en el escenario más adverso, y entre el 19 % y el 62 %, en el moderado. Si bien estos resultados han sido cuestionados por hacer pronósticos bajo el supuesto de una tecnología constante, hay que reconocerles su papel como revulsivo para despertar conciencias y promover proyectos.

En España se ha generado también una abundante producción científica, incluyendo proyectos de investigación y actividades diversas de transferencia de conocimiento y divulgación. En esta área cabe destacar los trabajos pioneros realizados en los proyectos «Cenit Deméter» (2008-2011) y «Simulación del clima futuro a escala local para viticultura con indicaciones prácticas en la gestión del viñedo» (2011-2012); los estudios sobre «Vulnerabilidad y adapta-

ción del viñedo en regiones de España» (2013-2015) desarrollados en la Universidad Politécnica de Madrid y el CEIGRAM (ver Resco, Iglesias, Bardají y Sotés, 2015); *Innovine* (2013-2016), *Globalviti* (2016), *Valovitis* y *VISCA* (*Vineyards' Integrated Smart Climate Application*) (2017-2020); las tres ediciones de la Conferencia Mundial sobre Calentamiento Global y Vino celebradas, respectivamente, en Barcelona (2006 y 2008) y Marbella (2011); el Congreso Internacional sobre Clima y Viticultura celebrado en Zaragoza en 2007; la Jornada «Viticultura y cambio climático», organizada por la Federación Española del Vino (FEV) y el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente en 2014 y el Plan de Actuación contra el cambio climático en el viñedo elaborado por la FEV en 2018.

.....

Este volumen tiene su origen en el curso *El sector vitivinícola frente al desafío del cambio climático: estrategias de adaptación y mitigación en el Mediterráneo*, celebrado en la Universidad Internacional Menéndez Pelayo de Valencia en mayo de 2017 y del que fuimos coordinadores. El objetivo general del mismo era analizar el citado desafío, teniendo en cuenta sus múltiples repercusiones en toda la cadena de valor vitivinícola y en una buena parte de los territorios del mundo del vino. Para ello, contamos con la participación de un nutrido elenco de expertos procedentes de diversas disciplinas en los ámbitos de la viticultura, la enología, la gestión y la economía del vino. Aunque el reto es global, los impactos y las estrategias de adaptación tienen un elevado componente local; por ello, y por su especial vulnerabilidad, decidimos poner el foco en las regiones mediterráneas.

El gran interés de las ponencias presentadas y el deseo de acercar al sector la gran cantidad de conocimiento disponible fueron los factores que nos llevaron a embarcarnos en este proyecto. La buena disposición de los participantes para poner por escrito sus aportaciones y de Cajamar Caja Rural para hacerse cargo de la edición, nos animaron a intentar ampliar el alcance de la obra para abordar aspectos del problema, que las limitaciones del curso no habían permitido incorporar. Afortunadamente, los expertos invitados en esta etapa aceptaron sumarse al proyecto y este creció en amplitud y profundidad.

El resultado ha sido un monográfico que se caracteriza por su ambición y diversidad. La ambición de integrar en una sola publicación aspectos que habitualmente son tratados por separado y la diversidad de encajar autores con

perfiles profesionales distintos, incluyendo profesores universitarios, investigadores, consultores, directivos, empresarios y responsables políticos. Todo esto se refleja en la capacidad de abordar de forma ordenada la vasta literatura existente sobre el tema y en la pluralidad de estilos de los autores. Frente a la homogeneidad formal de los trabajos estrictamente académicos, esta obra refleja la heterogeneidad que rige en este sector, en el que coexisten vinos de todo tipo de naturaleza y condición, para goce de los aficionados. En todo caso, hay un principio unificador, que es la búsqueda de coherencia de contenidos y de rigor en su planteamiento.

A este respecto, el monográfico contempla las cuatro dimensiones del desafío del cambio climático para el sector vitivinícola: las interacciones entre vino y clima, los impactos sobre el sector y las estrategias públicas y privadas tanto de mitigación como de adaptación. Sin embargo, a efectos de ordenación de los contenidos, este volumen se estructura en dos partes: una primera dedicada a los aspectos territoriales e institucionales y una segunda donde se analizan los aspectos productivos, tecnológicos y empresariales; además de una presentación y un epílogo.

El objetivo de la primera parte es destacar la multiplicidad de efectos territoriales y de respuestas asociadas a ellos. Como la geografía es uno de los principales determinantes, en esta sección cada uno de los capítulos está dedicado al análisis de la situación en los principales países y regiones de producción, aunque con un énfasis en las zonas de clima mayormente mediterráneo: el mundo y Portugal (Capítulo 1), España (Capítulo 2), Francia (Capítulo 3), Italia (Capítulo 4), Australia (Capítulo 5), áreas emergentes (Capítulo 6) y las comunidades mediterráneas españolas (Capítulo 7). En cualquier caso, como existe un elevado potencial de cooperación por parte de los países productores, la Organización Internacional de la Viña y el Vino –OIV– ha elaborado una ambiciosa estrategia para facilitar las acciones adoptadas por sus miembros (Capítulo 8).

El objetivo de la segunda parte es analizar los puntos críticos de adaptación y mitigación, mostrando tanto las oportunidades como las dificultades que surgen en cada uno de ellos. Para ello reciben una atención especial los temas de gestión y manejo del viñedo (Capítulo 9), el regadío (Capítulo 10), las enfermedades de la vid (Capítulo 11), la maduración fenólica de la uva (Capítulo 12), las prácticas enológicas (Capítulo 13), la sostenibilidad energética de la empresa vitivinícola (Capítulo 14), las certificaciones y mediciones ambientales (Capítulo 15) y las estrategias de una bodega emblemática (Ca-

pítulo 16). La obra se cierra con un Epílogo que, en clave española, reflexiona sobre las posibilidades de la política de ayudas públicas al sector para facilitar la adopción de medidas de mitigación y adaptación por parte de los productores.

.....

Las interacciones entre vino, clima y territorio son muy complejas. En primer lugar, una misma variación en cualquiera de los parámetros ambientales que determinan las propiedades de las uvas da lugar a consecuencias diferentes entre unas zonas y otras. En segundo lugar, en una misma zona pueden coexistir efectos positivos y negativos, dependiendo de la variable climática analizada y los plazos de tiempo. Todo esto hace que la casuística de situaciones sea enorme y que no reine el consenso.

Esta variabilidad se refleja en la percepción de los productores, pero no es el único factor. Además de las múltiples particularidades locales, no les resulta sencillo derivar tendencias ante los giros bruscos y la amplitud de las oscilaciones de temperaturas y precipitaciones. Asimismo, saben que cuentan con estrategias adaptativas que en el corto plazo pueden ayudarles a paliar los desequilibrios de las diferentes cosechas. Por un lado, en la viña disponen de distintas técnicas de manejo y por otro, en la bodega con el poder de la enología para corregir los mostos.

En suma, el cambio climático preocupa en el mundo del vino pero suscita diversas reacciones. En una misma región es posible encontrar posiciones de indiferencia, temor y esperanza –con una visión, eso sí, de corto y medio plazo, que es la que domina–. Indiferencia en aquellos lugares que no han experimentado todavía modificaciones claras y sustanciales de las condiciones de cultivo; temor en las zonas donde se producen vinos cuya cantidad y, sobre todo, calidad pueden verse alteradas; y esperanza donde creen que les va a permitir mejorar las condiciones de producción. En cualquier caso, son cada vez más las empresas vitivinícolas que están tomando medidas de diversificación varietal y territorial para reducir los riesgos que comporta.

Dicho esto, hay bastante consenso sobre algunas cuestiones básicas. La primera es que la geografía mundial del vino va a verse sustancialmente modificada en las próximas décadas. La segunda, que la tipicidad de los vinos, es decir, la asociación de sus características organolépticas y varietales con un territorio, va a verse alterada. La tercera, que el equilibrio de la madurez alcohólica junto con la madurez fenólica de la uva se va a convertir en el factor crítico

de la vitivinicultura de calidad. La cuarta, que la gestión del agua de riego va a ser la estrategia clave de adaptación en muchas zonas, con un aumento de los conflictos por su gestión y uso sostenible. La quinta, que la obtención de uva y vino va a requerir cada vez más conocimiento y capital científico y tecnológico de todo el proceso productivo, dado que la vitivinicultura empírica tradicional no tiene capacidad para hacer frente a las múltiples alteraciones ambientales que están ocurriendo. Y la sexta, que este desafío no se va a poder superar sin una nueva conciencia ecológica, que priorice la reducción de los impactos negativos de las actividades productivas y sus correspondientes huellas.

Aunque es arriesgado generalizar, la situación en las regiones mediterráneas va a ser cada vez más compleja. La prueba es que en las últimas décadas ya se han producido variaciones sustanciales en los parámetros ambientales tradicionales, lo que ha repercutido tanto en la gestión del cultivo como en la dinámica del sector. Técnicos y científicos vienen comprobando modificaciones inequívocas en los estados fenológicos de la vid y en las propiedades de los vinos, por ejemplo, en el aumento de su contenido en alcohol. Esta tendencia es consistente con la evidencia de que el calentamiento es más significativo y de mayor magnitud en el hemisferio norte que en el sur (Jones, 2005). En el caso de España es incontrovertible que se viene produciendo una profunda reestructuración del sector vitivinícola en las tres últimas décadas, en perjuicio de las zonas mediterráneas. Quizá no se pueda atribuir al cambio climático, pero es evidente que este juega un papel importante que se va a acentuar en los próximos años.

Para los productores, esta situación significa mayores riesgos, tanto en el corto como en el largo plazo, lo que afecta a decisiones estratégicas básicas como las de qué, cómo y dónde cultivar. Para los gobiernos, al menos en el caso de la Unión Europea, debería suponer una oportunidad para reflexionar sobre la forma de utilizar las ayudas sectoriales. Los actuales planes de apoyo pueden ser empleados para incentivar y apoyar la adopción de medidas de mitigación y adaptación por parte de las empresas vitivinícolas. Es posible hacerlo, por un lado, priorizando los proyectos destinados a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a introducir innovaciones para mantener la viabilidad del cultivo y, por otro, estableciendo paulatinamente requisitos y baremos que obliguen a las bodegas a ser más sostenibles. Para los consumidores, el cambio climático supone un desafío para aumentar su cultura vitivinícola, dado que cada vez va a ser más importante conocer las condiciones de las distintas zonas y las características de los vinos asociadas a ellas. Finalmente,

para los profesionales del sector, van a aumentar las exigencias de dedicación, conocimiento, capacidad tecnológica y respeto al medioambiente. Nuestra esperanza es que este monográfico contribuya a que todos los afectados tomen las mejores decisiones posibles para poder seguir disfrutando del valor económico, social, cultural y hedónico del vino.

Referencias bibliográficas

- ASHENFELTER, O. (2008): «Predicting the quality and prices of Bordeaux wine»; *The Economic Journal* 118(529); pp. F174-F184.
- HANNAH, L.; ROEHRDANZ, P. R.; IKEGAMI, M.; SHEPARD, A. V.; SHAW, M. R.; TABOR, G.; ZHI, L.; MARQUET, P. A. y HIJMAN, R. J. (2013): «Climate change, wine, and conservation». *PNAS* 110(17); pp. 6907-6912; <https://doi.org/10.1073/pnas.1210127110>.
- HOLLAND, T. y SMIT, B. (2010): «Climate change and the wine industry: current research themes and new directions»; *Journal of Wine Research* 21(2-3); pp. 125-136.
- JONES, G. V.; WHITE, M. A.; COOPER, O. R. y STORCHMANN, K. (2005): «Climate change and global wine quality»; *Climatic change* 73(3); pp. 319-343; <https://doi.org/10.1007/s10584-005-4704-2>.
- KEELING, C. D.; ROBERT, B.; BACASTOW, R. B.; BAINBRIDGE, A. E.; GUENTHER, P. R.; WATERMAN, L. S. y CHIN, J. F. S. (1976): «Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii»; *Tellus*, 28(6); pp. 538-551; <https://doi.org/10.1111/j.2153-3490.1976.tb00701.x>.
- MANABE, S. y WETHERALD, R. T. (1967): «Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity»; *Journal of the Atmospheric Sciences* 24(3); pp. 241-259.
- MARX, W.; HAUNSCHILD, R. y BORNMANN, L. (2017): «Climate change and viticulture-a quantitative analysis of a highly dynamic research field»; *Vitis: Journal of Grapevine Research* 56(1); pp. 35-43.
- MOZELL, M. R. y THACH, L. (2014): «The impact of climate change on the global wine industry: Challenges & solutions»; *Wine Economics and Policy* 3(2); pp. 81-89.
- PARMESAN, C. y YOHE, G. (2003): «A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems»; *Nature* 421(6918); p. 37.

RESCO, P.; IGLESIAS, A.; BARDAJÍ, I. y SOTÉS, V. (2015): «Exploring adaptation choices for grapevine regions in Spain»; *Regional Environmental Change* 16(4); pp. 979-993. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0811-4>.

SCHULTZ, H. (2000): «Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects»; *Australian Journal of grape and wine research* 6(1); pp. 2-12.

UGAGLIA, A. A. y PERES, S. (2017): «Knowledge Dynamics and Climate Change Issues in the Wine Industry: A Literature Review»; *Journal of Innovation Economics & Management* (3); pp. 105-125.

I. ENFOQUE TERRITORIAL E INSTITUCIONAL

Impacts on the vitiviniculture geography in the world and in Portugal

*João Andrade Santos, Helder Fraga, José Moutinho-Pereira
and Aureliano C. Malheiro*

Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro

Abstract/Resumen

Viticulture is a prominent socioeconomic activity in many regions worldwide, but confined to some specific climatic niches. Climate is indeed one of the most important components of a wine region terroir. Climate change is projected to bring additional challenges to viticulture, particularly for Mediterranean viticulture. A lowering in the suitability of some important wine making regions during the last decades was already reported and is projected to intensify under future climates, but with spatially heterogeneous impacts. These changes may indeed imply changes in the geography of the world wine regions and a reshaping of global viticulture. More specifically for Portugal, a northward shift in the current bioclimatic conditions is expected in the future. Totally new climatic conditions will arise in the south, very warm and semi-arid, which will require major adaptation measures in order to maintain viticulture in these regions, while some regions in the north and in high-elevation areas may generally benefit from a warmer and drier climate. In all cases, however, the wine typicity might be threatened and adaptation measures are required to maintain the production of high quality table wines.

.....

La viticultura es una actividad socioeconómica destacada en muchas regiones del mundo, aunque limitada a nichos climáticos específicos. El clima es, de hecho, uno de los componentes más importantes del terroir de una región vinícola y de las propiedades de sus vinos. Se prevé que el cambio climático suponga un gran desafío para el sector, en particular para la vitivinicultura mediterránea. Ya existen señales de una disminución en la idoneidad de algunas regiones vitícolas importantes en las últimas décadas, y se prevé que este fenómeno se intensifique en

los escenarios climáticos futuros, aunque con impactos espacialmente heterogéneos. Estos cambios pueden implicar cambios en la geografía de las regiones vitivinícolas del mundo y una remodelación de la viticultura mundial. Para Portugal es previsible que aparezcan condiciones climáticas totalmente nuevas en el sur, más cálidas y semiáridas, que requerirán importantes medidas de adaptación para mantener la viticultura en estas regiones. Mientras, en algunas regiones en el norte y en áreas de gran elevación se beneficiarán de un clima más cálido y más seco. En todos los casos, sin embargo, la tipicidad del vino podría verse amenazada, por lo que será necesario tomar medidas para mantener la producción de vinos de mesa de alta calidad.

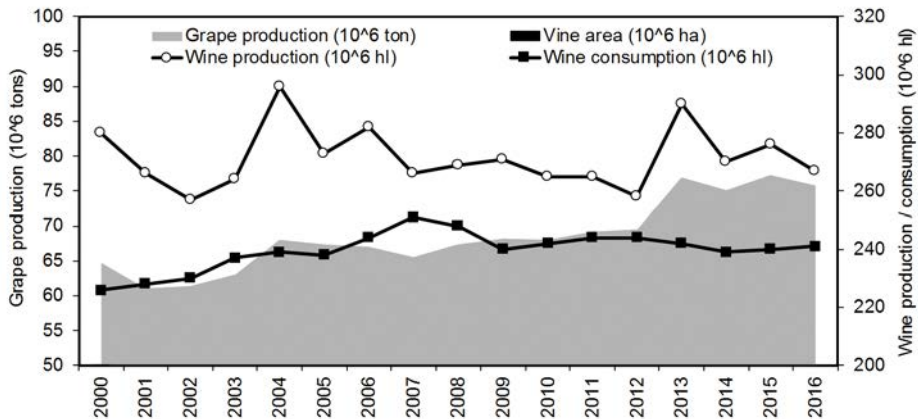
1. Viticulture in the world

The geography of viticulture in the world can be more accurately analysed taking the vineyard land cover into consideration. According to the most recent report of the International Organization of Vine and Wine (OIV, 2017), it is estimated that, in 2016, the world's vineyards covered an area of approximately 7,516 M ha. Spain contributes to 14 % of the world vineyard area, followed by China (11 %), France (10 %), Italy (9 %) and Turkey (7 %). Hence, only these 5 countries represent approximately half of the vineyard area in the world. After a downward trend in the period of 2003-2011, and a slight recovery in the two following years, there is a clear stabilization of the world vineyard area from 2013 onwards (Figure 1). However, decreasing trends in the vineyard area are recorded in several countries during the last few years, particularly in Europe, while other countries show a clear growth of the vineyard area, particularly in China, which is presently the second country with the largest vineyard area in the world. Although Europe has lost some of its preponderance to Asia, North America and some southern hemisphere countries, namely Argentina, Australia, Chile and South Africa, this continent still encompasses the largest vineyard area in the world (roughly 40 %).

In spite of the slight downward trend and recent stabilization in the world vineyard area, the global grape production underwent a consistent upward trend over the last two decades (Figure 1); the estimated value in 2016 was of circa 76 M t (39 % in Europe, 34 % in Asia and 18 % in the Americas). Based on the same report (OIV, 2017), the global wine production, in volume, stood at 267 M hl in 2016 (Figure 1), remaining largely stabilized over the last two decades. Italy maintains its role as the first wine producer in

the world, followed by France, Spain and the USA. Spain, Italy and France are the most important wine exporters, with exports increasing in Spain and decreasing in Italy and France over the last decade.

Figure 1. Total grape production, wine production and wine consumption from 2000 to 2016

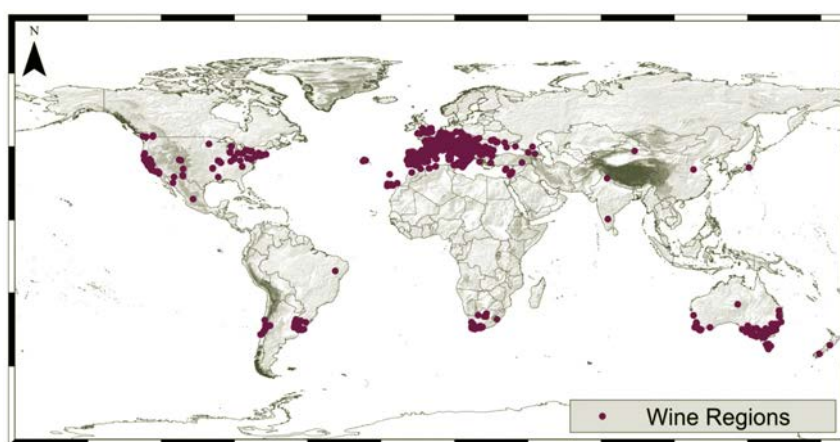


Source: Adapted from OIV (2017).

Figure 2 depicts the current viticultural regions of the world, though their designations are omitted in the map owing to their very high density in some regions like Europe. However, several world renowned winemaking countries and regions must be mentioned, such as Spain (e. g. La Rioja, Ribera del Duero, La Mancha, Rías Baixas, Bierzo, Catalonia, Andalucía), France (e. g. Bordeaux, Burgundy, Champagne, Northern/Southern Rhône, Loire, Alsace), Italy (e. g. Tuscany, Piemonte, Véneto, Friuli, Trentino-Alto Ádige), USA (e. g. California, Oregon, Washington), Germany (e. g. Mosel, Rhine), Portugal (e. g. Porto/Douro, Alentejo, Vinhos Verdes), Hungary (e. g. Tokaj), Greece (e. g. Macedonia, Peloponnese, Aegean Islands), Austria (e. g. Niederösterreich, Burgenland), Chile (e. g. Valle Central), South Africa (e. g. Cape), Argentina (e. g. Mendoza), Southern Australia, New Zealand (e. g. Marlborough), among others. In addition, the current viticultural regions are usually within areas with Recognized Appellation of Origin (RAO; Resolution OIV/ECO 2/92) or Denomination of Origin (DO; European Community 479/2008 Art. 34 1a), which ensures the typicity of regional

wines. Despite these relatively recent regulations, it should be mentioned that the Chianti region, in Tuscany, Italy, was the first to establish this classification (since 1716), shortly followed by Tokaj (Hungary, 1737) and Douro (Portugal, 1756), though the last region was the first to institute specific regulation parameters.

Figure 2. World Distribution of the viticultural regions



Source: wine regions locations: «Wine Regions of the World - Version 1.31».

Therefore, viticulture is widespread across the globe and is far from being restricted to the «traditional» European wine regions. Furthermore, it is a very important agent of socioeconomic development in many regions, not being limited to wine production. On the other hand, vitiviniculture is more restricted to areas suitable to the production of high quality table wines in order to be economically sustainable and viable. It is thereby often associated with local or regional environmental niches that create unique wine characteristics, widely appreciated in national and international markets. These latter environmental conditions impose strong limits to the geographical expansion of vitiviniculture, partially explaining the stabilization in the world wine grape and wine production, simply because it is not feasible to produce good wines everywhere.

2. Viticulture and *terroir*

Most of the world famous winemaking regions can be distinguished by their typical environmental characteristics, such as climate, soils, grown varieties and agricultural practices. The climatic characteristics of a given vitivinicultural region, such as temperature, precipitation, humidity, wind and radiation regimes, are key factors in determining its landscape, vineyard management, varietal suitability and wine styles. Soils also play a key role on viticulture, as specific grapevine varieties produce the best results in soils with particular characteristics, including soil depth, texture, water and nutrient supply. In some cases, very specific soil properties do limit the borders of wine regions. Different soil physical and chemical properties influence grapevine development and grape berry composition, thus leaving a clear signature on the wines. In effect, these local-scale edapho-climatic features have been largely acknowledged and taken into account throughout the years in all ancestral winemaking regions, where vine growers have gradually, and to some extent, empirically adapted viticulture to best suite their surrounding environmental conditions. Besides the edapho-climatic conditions, vineyard management practices, such as vine density, irrigation, fertilization, soil management, rootstock and scion (the plant part grafted onto the rootstock) selection, crop load, girdling, pinching, pruning, thinning and topping, phytosanitary treatments, among others, may also significantly influence grapevine development and fruit composition.

Overall, climate, soil and management practices are part of a more complex and interactive system commonly called *terroir*. According to the OIV (Resolution OIV/VITI 333/2010), «*Terroir* is a concept which refers to an area in which collective knowledge of the interactions between the identifiable physical and biological environment and applied vitivinicultural practices develops, providing distinctive characteristics for the products originating from this area. *Terroir* includes specific soil, topography, climate, landscape characteristics and biodiversity features». The whole *terroir* system significantly controls the canopy microclimate and the grapevine physiological development, eventually governing grape berry attributes, wine quality and typicity of a given region.

Although the oenological practices have remained nearly unchanged until recent decades, current scientific and technological breakthroughs, including noteworthy innovations in wineries, have also deeply changed

the winemaking sector and have contributed to a significant improvement in wine quality worldwide. Marketing strategies have also led to a positive feedback process in the sector, by promoting wine and enhancing economic incomes. This new paradigm in the sector has decisively contributed to its socio-economic sustainability, has potentiated new investments and brought improvements to the whole value-chain.

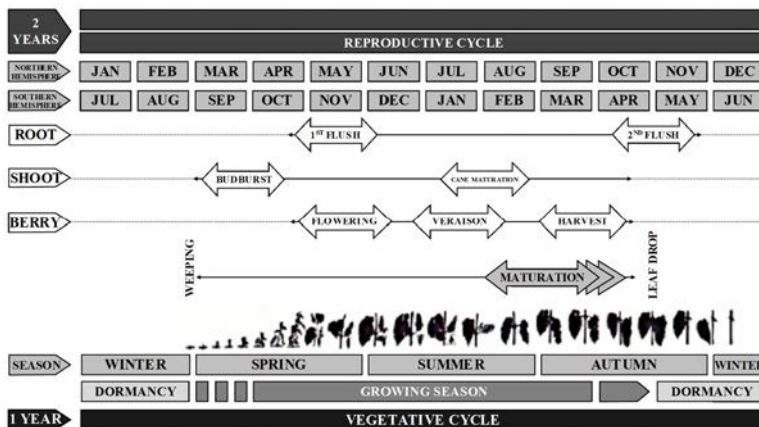
3. Vine physiology and climate

In order to better understand the grapevine-climate relationships it is essential to understand vine physiology. Grapevine undergoes morphological and physiological changes in the different stages of its vegetative and reproductive cycles. In effect, the vine reproductive cycle extends over two years, while its vegetative cycle occurs during a single year (Figure 3). The reproductive cycle determines the number of clusters in the following year, while the vegetative cycle comprises two stages: the vine dormancy period and the growing season. In the dormancy stage, which is initiated with the low temperatures during Autumn/Winter (chilling accumulation) and extending over approximately four months, the vine maintains low metabolic activity and keeps its external appearance virtually unchanged. Conversely, during the growing season, the vine experiences constant morphological and physiological changes, mostly triggered by thermal forcing (heat accumulation). It is worth mentioning that these two stages are normal in temperate climate viticulture and do not naturally occur in tropical viticulture, which is out of the scope of the present chapter.

A rise in air temperature during spring sets the end of the vine dormancy period and the subsequent heat accumulation will drive the progression of the different phenological stages. The growing season begins with the guttation fluid («weeping»), clearly perceptible due to small drops glittering at the end of the pruned spurs and canes. Usually within two to five weeks «budburst» occurs. The next phenological stage is «flowering», which usually occurs in May-June (northern hemisphere) or November-December (southern hemisphere). Berries initiate growth shortly after flowering, corresponding to the beginning of the «fruit/berry set». The «veraison» stage is reached when 50 % of the red grape clusters show changes in colour, or when signs of softening in white grapes appear. This stage also sets the beginning of the maturation period, which extends until the harvest, usually lasting 40 to 50 days. Finally,

the growing season ends with the autumnal leaf fall. A new dormancy period then starts, naturally favoured by low radiation levels (and photoperiods) and low temperatures.

Figure 3. Vegetative and reproductive cycles and vine phenological stages



Source: Adapted from Fraga *et al.* (2012).

The length of the phenological stages differs according not only to each cultivar, but also to the climatic conditions of each region and of a given year (vintage). Several studies, in different parts of the world, have indeed demonstrated that the length of the grapevine growing season is directly related to the growing season mean temperature (e. g. Jones, 2006), though it can also be linked to soil moisture and crop management practices (Webb *et al.*, 2012). In general, climate strongly impacts the development of the grapevine, as it requires suitable temperatures, solar radiation intensities and duration, as well as water availability during its growth cycle. As such, the grapevine phenological stages are significantly controlled by atmospheric conditions in a specific year and may vary sharply from one year to the next (strong inter-annual variability). Hence, forecasting the phenological stages is of utmost importance in planning management activities in vineyards, wineries and overall winemaking decisions.

Following the previous lines on the progression of the vine phenological stages, air temperature is recognised as the most important forcing factor of grapevine development. In effect, grapevine physiology and fruit composi-

tion are highly influenced by temperatures during the growing season. Although this crop has a good adaptation to environmental stress, tolerating extremely low temperatures during winter (as low as -20°C), negative temperatures during spring may significantly damage the developing buds and leaves. This crop also shows high sensitivity and vulnerability to hail events or heavy rainfall episodes during its growing season. On the other hand, as mentioned previously, winter chilling accumulation is a critical aspect in controlling and synchronizing the grapevine cycles, since cold promotes bud dormancy, initiating starch storage for the following year. From leaf fall to early spring, grapevines are dormant and entirely consist of woody tissue, with little physiological activity. Although some grapevine varieties may be more heat-tolerant than others, very high temperatures ($>36^{\circ}\text{C}$) may also significantly affect vine physiology. In effect, grapevines growing under extreme heat experience stomata closure and a significant decrease in photosynthetic productivity, as well as disorders in other biochemical processes.

Precipitation is also a critical factor in viticulture, particularly in rainfed (non-irrigated) grapevines, as it governs soil water availability and plant water stress levels, leading to a wide range of effects, though largely dependent on the development stage. High soil moisture during budburst and shoot/inflorescence development is of major importance for vine growth, particularly in Mediterranean-type climates. However, excessive humidity during later developmental stages overstimulates vine vigour, leading to denser canopies and higher risk of disease outbreaks (e. g. downy mildew and oidium). Conversely, water stress at these early stages may cause small shoot growth, poor flower-clustering and berry set development. From flowering to berry ripening, water stress results in low leaf area (limiting photosynthesis), flower abortion and cluster abscission. Nevertheless, moderately dry and stable atmospheric conditions during ripening (maturation period) are generally favourable to the production of high quality grape berries and wines. Slower leaf development under moderate dryness also promotes higher water use efficiency. On the contrary, excessive precipitation is commonly unfavourable to maturation due to sugar dilution and may also trigger grape berry cracking and associated diseases.

Solar radiation is also a key climatic factor affecting viticulture. During maturation, sugar and phenolic compounds are favoured by sunny days. Therefore, regions with less sunlight tend to optimize vine solar exposure by taking advantage of local orographic slopes and aspects, or by adjusting the training systems and canopy density. With more exposed leaves and clusters,

photosynthesis and stomatal conductance are favoured, but at the same time increasing water demands and potentially increasing other problems, namely sunburns in leaves and clusters. In opposition, less exposed vines result in lower berry temperatures and lower water demands, but at the expense of lower sugar and phenolic concentrations. High canopy density may also reduce bud fertility, which is determinant for the following year's vegetative cycle, as explained above.

In Mediterranean-type climates, vineyards are subject to high radiation levels, interacting with summertime high air temperatures and dryness, along with strong soil water deficits, all together largely impacting on grapevine productivity. Frequently, leaves display permanent photoinhibition and chlorosis, followed by necrosis that expose grape clusters, thus leading to low intrinsic water use efficiency. Hence, low vigour tends to be associated with reduced berry weight, sugar content and yield. Other berry organoleptic properties, such as colour, flavour or aroma components, are often inhibited by excessive solar radiance and severe dryness. This leads to unbalanced wines, with high alcoholic content and excessively low acidity, with obviously low commercial value.

In order to better characterize the connections between grapevines and climate, several bioclimatic indices have been developed. These indices generally provide closer relationships between grapevine development and atmospheric conditions than ordinary variables, such as monthly mean temperatures or precipitation. These bioclimatic indices aim at integrating the natural plant-atmosphere interactions, thereby tending to follow the plant physiological development more closely. Using growing degree sums (degree-days) for a base temperature of 10 °C, Amerine and Winkler (1944) developed the so-called Winkler scale. Using this concept, the Huglin index (Huglin, 1978) was developed to also account for temperatures during the growing season, but also including a local radiation coefficient. The cool night index (Tonietto and Carbonneau, 2004), which accounts for minimum temperatures at harvest, is also often used in viticultural zoning. The dryness index (Riou *et al.*, 1994) is based on an estimation of the potential soil water balance, thus indirectly measuring water stress conditions. Hence, viticultural zoning based on a number of bioclimatic indices is commonly undertaken in order to determine the most suitable areas in a given region for viticulture and wine production.

All the aforementioned grapevine-climate relationships have, nonetheless, a pernicious effect: grapevines are particularly vulnerable to climate change!

4. Viticulture and climate change

Several scientific studies have been devoted to the assessment of the impacts of climate variability and change on viticulture and wine. For instance, Jones *et al.* (2004) found that the growing season mean temperatures, from 1950 to 1999, have already increased for most of the world viticultural regions. Associated with the warming trends over the last few decades, changes in the physiological development and growth of grapevines have also been reported for different wine regions worldwide. In fact, several studies have already reported earlier phenological timings and shortenings of the grapevine growing season in response to these upward temperature trends. The advances in phenological timings, with e. g. ripening occurring during a warmer period, may have detrimental impacts on berry properties and wine quality, thus threatening the wine typicity of a given region and ultimately its viticultural suitability. In addition, changes in grapevine yields and wine production have also been reported in association with recent past climate change. Hence, the latest research shows that climate change impacts on viticulture are already underway and are also being perceived by scientists and viticulturists worldwide. It is not a temporally distant problem, but rather a current and ongoing process!

Since climate change projections for the 21st century are in line with the recent past trends, suggesting their strengthening, climate change is then expected to have non-negligible impacts on viticulture over the next decades. Changes in the temperature and precipitation spatial patterns and temporal regimes (e. g. seasonality) may indeed considerably modify current viticultural bioclimatic zones and reshape viticultural suitability on a global scale. Climate change studies for Portugal (Fraga *et al.*, 2016a), Greece (Lazoglou *et al.*, 2017), Germany (Neumann and Matzarakis, 2014), Italy (Eccel *et al.*, 2016), Spain (Ramos, 2017), amongst others, project an overall increase in the growing season mean temperature over the next decades. As a result, earlier phenological timings may either positively or negatively affect wine quality in the future, as already stated before. In the future, a warming of cool regions might be beneficial for grape berry quality (e. g. longer maturation periods), whilst excessively high air temperatures in already warm regions may inhibit the synthesis of anthocyanin and polyphenols, thus affecting grape colour and aroma, among other berry attributes. Moreover, enhanced inter-annual variability in atmospheric conditions and the occurrence of more frequent and intense weather extremes may also increase the irregularity of yields and wine quality.

In Southern Europe, a decrease in the suitability of the current wine-making regions is generally projected, mostly owing to significant downward trends in precipitation (Santos *et al.*, 2012). Lower precipitation amounts combined with strengthened evapotranspiration under warmer climates will lead to enhanced dryness and plant water stress in future climates. In fact, these regions may become excessively dry for the production of high quality wines, or even unsuitable for grapevine cultivation without sufficient irrigation. It is important to bear in mind that local water reservoirs will also be under strong pressure and water supply for crops is not warranted in these regions. Regions like Alentejo (Portugal), Andalucía and Castilla-La Mancha (Spain), Sicily, Puglia and Campania (Italy) will likely suffer from recurrent and persistent severe water deficits. In contrast to Southern European winemaking regions, future warmer climates may be beneficial for many regions in Central and Western Europe, such as Alsace, Champagne, Bordeaux, Bourgogne, Loire Valley (France), Mosel and Rheingau (Germany). In spite of the projected increases in precipitation, which can be favourable to pests and diseases outbreaks (e. g. downy mildew), warming may bring beneficial effects on wine quality (more balanced wines with higher sugar content and lower acidity), will enable the growth of a wider range of grapevine varieties (e. g. late ripening varieties from Southern Europe) and will create conditions for new wine regions in areas that are currently unsuitable. As an example, Eitzinger *et al.* (2009) project a doubling of the grapevine growing areas in Austria by 2050s. Furthermore, the projected warming in Central and Northern European regions will result in prolonged frost-free periods and longer growing seasons, which will generally tend to favour wine quality.

More specifically, yields, phenology, water and nitrogen stress indices over Europe were analysed in a recent study (Fraga *et al.*, 2016a), for present climates (1980-2005) and future (2041-2070) climate change scenarios (RCP4.5 and RCP8.5; two *Representative Concentration Pathways* for the anthropogenic driven radiative forcing defined by the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC). The STICS crop model (a process-based dynamical crop model that simulates grapevine physiological development) was coupled with climate, soil and terrain datasets, also taking CO₂ physiological effects into account. For the present climates, a clear agreement between simulated and observed phenology, leaf area index, yield, and water and nitrogen stress indices was found. For the future simulations, the projected changes highlight a northwards extension of viticultural suitability up

to 55° N, which may represent the emergence of new winemaking regions in Northern Europe. Despite strong regional heterogeneity, mean phenological timings (budburst, flowering, veraison and harvest) are projected to occur much earlier than presently (e. g. budburst/harvest can be >1 month earlier), with obvious implications in the length of the corresponding phenophase intervals. Enhanced dryness and severe water stress over Southern Europe (e. g. southern Iberia and Italy) will locally reduce yields.

Higher CO₂ concentrations in future climates should promote a decrease in plant transpiration (by promoting stomatal closure), which may influence the potential soil water balance (though the future patterns of atmospheric demand are still uncertain). Generally speaking, this indirect effect of CO₂ increase will be combined with the direct effect of an increase in plant carbon accumulation (CO₂ fertilization effect), which may thus provide a net positive response to climate change, likely counteracting some of its detrimental impacts. Fraga *et al.* (2016a) showed that although the increased CO₂ concentration in future climates is expected to significantly offset the enhanced water stress over Northern and Central Europe, these effects will only marginally mitigate the negative impacts of severe water and heat stresses on Southern European viticulture.

Therefore, currently warm winemaking regions (close to the equatorward thermal limit for viticulture), such as in Southern Europe (e. g. Portugal, Spain, southern France, Italy and Greece), California, South Africa, northern wine regions in Chile, Argentina and Australia, will be much more negatively affected by climate change than cool winemaking regions (close to the poleward thermal limit for viticulture), such as in Central and Northern Europe (e. g. northern France, Germany, Switzerland, Austria, Hungary, Check Republic and Romania), the Northwest of the USA (Oregon and Washington states), southern wine regions in Chile and Argentina, New Zealand and other high-elevation wine regions worldwide. Some beneficial effects may even arise in the latter regions, as they become closer to the «optimal» conditions. Furthermore, new wine regions may arise, namely in northern Europe (England, Netherlands, Denmark, southern Sweden and Poland), Canada, southern New Zealand, Tasmania, southern Chile and Argentina, and in higher-elevation areas close to current wine regions. Further details can be found in studies like Hannah *et al.* 2013, despite the large uncertainties regarding both climate and suitability models and scenarios. Mediterranean-climate wine regions (not only in Europe), owing to the projected severity of heat and water

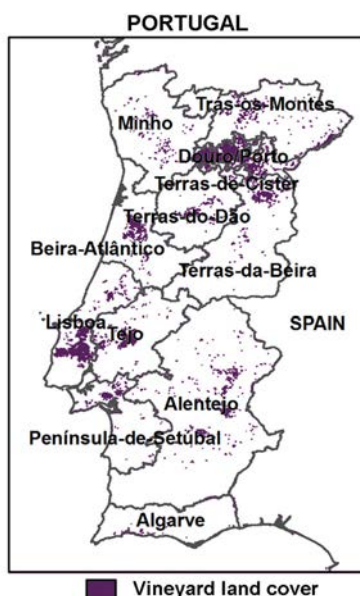
stress in future climates, may be severely affected and Mediterranean viticulture thus deserves particular attention.

5. Mediterranean viticulture and climate change: Portugal as a case study

Although this section is devoted to climate change impacts on Portuguese viticulture, most of these impacts can be extrapolated to other Mediterranean wine regions throughout the globe, i. e. not only located in Southern Europe and the Mediterranean Basin, but also in Chile, South Africa, Australia and California. In Portugal, winemaking is historically one of the most important socio-economic activity of the country, as happens in many other southern European countries. In the context of the whole Portuguese agricultural sector, this industry represents roughly 14 % of the total planted area and 6 % of the total agricultural production. With an average vineyard area of nearly 190,000 hectares and a yearly wine production of about 6 million hl (OIV, 2017), the national production has shown a slight decrease over the past decade. This can be mostly attributed to a gradual decrease in the vineyard area, owing to vineyard's abandonment or to national projects for vineyard's restructuring or conversion to other crops. Nonetheless, Portugal is still currently the 11th wine producer and the 9th exporter in the world (OIV, 2017). Approximately half of the total annual wine production is being exported. In absolute terms, this contributes to the national exports with an income of over than 700 million €/year, which corresponds to nearly 2 % of total national exports. The wines of Portugal are thus valuable national brands, increasingly recognised in the world market. Portugal is currently the 12th wine consumer in the world and, despite the important decrease over the last decade, its *per capita* consumption remains one of the highest in the world.

Portugal is currently divided into 14 winemaking regions, or Protected Geographical Indications (IGP), 12 in mainland Portugal, plus the Azores and Madeira archipelagos in the North Atlantic (Figure 4). These regions include 31 Protected Denominations of Origin (DOP). In the north, the Douro Demarcated Region, with almost 1.5 M hl of total wine production and 45,000 ha of vineyards, is the oldest and one of the most important winemaking regions of the country. This region, famous for its fortified Port wine, is responsible for one fourth of all wine produced in Portugal. Its vineyards in terraced landscape are also considered World Heritage by the UNESCO since 2001.

Figure 4. Portuguese viticultural regions along with the vineyard land cover



In the northwest, the most maritime area of mainland Portugal (humid mesomediterranean climate), the Minho winemaking region produces mostly white wines (Vinhos-Verdes), unique for their freshness and slightly higher acidity when compared to other Portuguese wines. In the south, the Alentejo winemaking region, with a warm and remarkably dry Mediterranean-type climate (dry sub-humid thermomediterranean climate), has undergone notable growth rates in wine production over the last decades, producing very strong wines, and is currently the leading region in terms of non-fortified wine production. From the sparkling wines of the Beira-Atlântico region (in the central-western coast), to the fortified Muscatel or Madeira wines, wine regions in Portugal present exclusive wines resulting from their unique *terroirs*.

Growing degree-day (GDD; April-October, 1950-2000) maps over Portugal (Figure 5a) indicate that the northern regions typically show temperate climates, with cool areas at higher elevations and warm/temperate-warm areas at lower elevations, especially in the Douro region. Almost all of the southern part of the country shows a warm climate, but with some inner areas already in the very-warm class. Regarding dryness conditions (annual precipitation

totals), the Atlantic influence is noticeable in the northern coastal areas, with sub-humid or even humid climates (Figure 6a), whereas the rest of the country depicts moderate dryness. In the inner areas, however, summertime low water availability critically limits grapevine development (inner Alentejo and inner Douro). Winter temperatures tend to be milder in the southern regions, such as in Lisboa and Algarve (January mean temperature of 10-12 °C), while late spring frost is relatively common in the northern regions, particularly in deep valleys under strong thermal inversion effects, which may occasionally lead to important damages in vineyards.

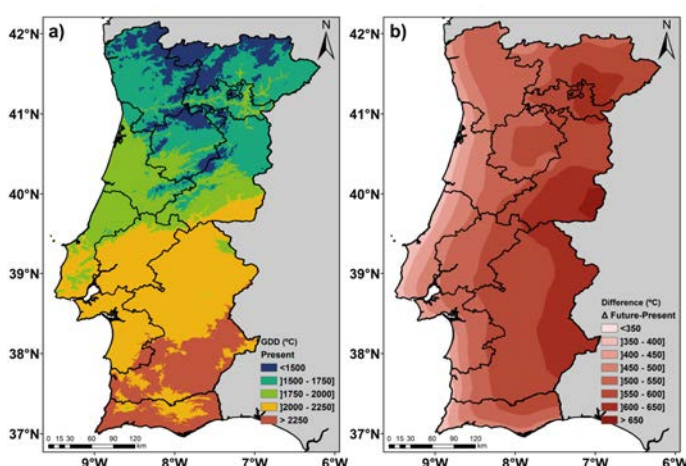
There are three main soil types in Portugal: cambisols in the centre-north and lithosols/luvisols and leptosols in the south. The most important exceptions are the Douro region in the north, with lithosols, and the Peninsula-de-Setúbal and Tejo regions, with podzols. Loam is the predominant soil texture in Portugal, while sand and clay are less frequent. With respect to the Portuguese physiography, the most mountainous areas are located in inner northern and central areas, northwards of the Tagus River, while flatlands prevail in coastal and southern areas.

Portuguese vineyards have a large number of both native and international varieties, with over than 300 authorized varieties. Aragonez (also known as Tempranillo in Spain, red variety) is the most planted variety in Portugal, followed by Touriga-Franca (red), Castelão (red), Fernão-Pires (white) and Touriga-Nacional (red). Even though these varieties are grown in almost all Portuguese winemaking regions, other varieties are more region-specific, such as Alvarinho (white) in Minho (Vinhos-Verdes) or Baga (red) in the Beira-Atlântico region. These varieties have unique agronomic and oenological characteristics that in the end result in distinctive wines. The cordon (unilateral or bilateral) is currently the most used training system in Portugal, though pergola (in Minho), Guyot (e. g. Douro) and gobelet (e. g. Trás-os-Montes) can also be found. Although phenological timings tend to occur earlier in the southern warmest part of the country, budburst normally occurs from March to April, flowering from May to June, while harvest is typically from late August to early October.

For the future, a warming and drying of the grapevine growing season is also anticipated for Portugal, similarly to what is projected for other wine regions worldwide, as previously mentioned. GDD projections for 2041-2070 under the RCP8.5 scenario suggest large increases in heat accumulation (Figure 5b), particularly in the innermost regions, reaching values above

2,700 °C, often considered excessively warm conditions for temperate climate viticulture. Therefore, grapevines will be particularly affected by the projected higher temperatures during the growing season. Extreme heat during this period may abruptly reduce vine metabolism, inexorably affecting the aroma/flavour and colour of wines. Still, higher sugar concentrations and lower acidity are expected, not only threatening the production of well-balanced wines, but also increasing the risk of organoleptic degradation or even wine spoilage.

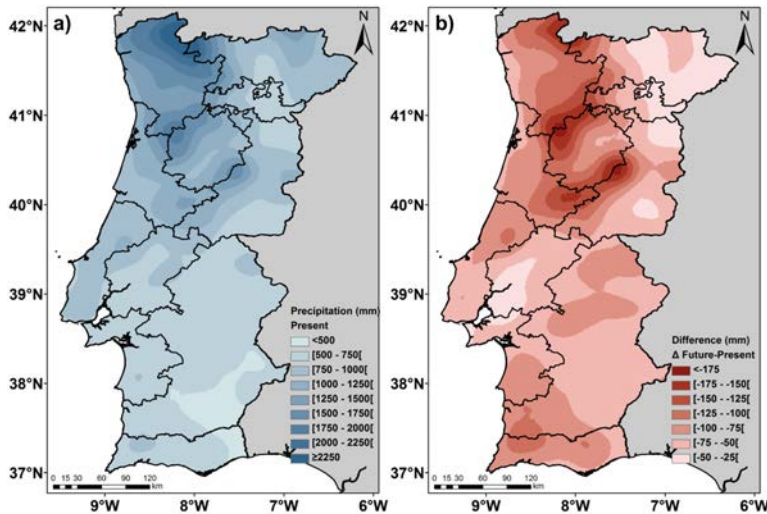
Figure 5. Growing degree-days for the recent-past (1981-2005) (a) and their corresponding change in the future period (RCP8.5; 2041-2070) (b)



As temperatures are a major driver of the grapevine development stages, significant warming is expected to lead to earlier onsets, as was already mentioned for other wine regions. Recent studies for Portugal analysed future projections for the phenological stages of 16 native varieties (Fraga *et al.*, 2016b). The results hint at earlier onsets of up to 5 days for budburst and flowering, and of up to 15 days for veraison, until 2070, depending on the selected future scenario and grapevine variety. As previously mentioned, earlier phenological timings will bring a wide range of impacts on viticulture, with very different implications from one region to the other. Also in line with other Southern European regions, extreme dryness is very likely to occur in the future, particularly in the innermost/continental southern regions (Figure 6b). The expected decrease of rainfall in spring and summer will enhance water requirements and may trigger severe water stress in vineyards, potentially

lethal for rainfed grapevines. The lowering of humidity in future climates is expected to reduce some phytosanitary risks (e.g. downy mildew disease), but the emergence of new grapevine-related pests and diseases under warmer future climates is also very likely and may also require some adaptations in management practices.

Figure 6. Annual precipitation totals for the recent-past (1981-2005) (a) and their corresponding change in the future period (RCP8.5; 2041-2070) (b)



The interaction between positive (enhanced CO₂ effects on plant physiology) and negative (higher light, heat and water stresses) climate change effects on yields are expected to lead to very different results in Portugal, despite being a relatively small country. The overall effect on production will depend on CO₂ concentrations, temperature, solar radiation, precipitation and many other factors. As an example, for the Douro region, several studies suggest higher grapevine yields and wine productions in future climates (Santos *et al.*, 2011). Nonetheless, these studies were conducted considering the more humid part of the region (Baixo-Corgo), while projections for the driest areas hint at yield decreases (Cima-Corgo and Douro-Superior). Furthermore, yield decreases are also projected to occur in the Alentejo region (Coelho *et al.*, 2013), which has a much warmer and drier climate. Although projections for yield are largely heterogeneous and site-specific, most studies agree regarding the projections for stronger annual yield irregularity, driven

by both enhanced inter-annual climate variability and the increase in the frequency of occurrence and intensity of weather extremes.

In summary, under future warmer climates, excessively high temperatures may inhibit the formation of anthocyanin and polyphenols, impacting berry colour and aroma. Higher sugar concentrations and lower acidity are also expected, challenging the oenological techniques for the production of balanced and internationally competitive wines and exacerbating organoleptic degradation problems. For regions already presenting warm climates (e. g. Alentejo and Douro), climate change may thus endanger the balanced ripening of grapes and the sustainability of the existing varieties and wine styles. Nevertheless, future warming in the cooler climate regions (e. g. Minho) may improve their suitability for the production of high quality wines.

Although a modification of the currently established wine types is likely to occur, the socio-economic impacts of climate change on wine quality can be quite diverse, greatly depending on the specific region or even on vineyard's locations and mesoclimates. These outcomes highlight the importance of local and regional scale studies. Although some general considerations were made herein that can be extrapolated to other Mediterranean-climate wine regions, more precise site-specific guidelines, useful for local viticulturists and winemakers, require a much deeper analysis of the local terroirs.

Several projects are currently being implemented in close collaboration between stakeholders and R&D units. These projects are mostly funded by national (e. g. FCT) and European (e. g. EU) organizations, namely the INNOVINE&WINE platform, hosted at the Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro (UTAD), the Clim4Vitis project (a European-funded H2020 twinning action), or the Collaborative Laboratory Vines&Wines, hosted in the North of Portugal. These projects are in full compliance with the national and regional smart specialization strategies, though a multidisciplinary approach that can contribute to overcome the vulnerabilities of Portuguese viticulture under changing climates, warranting the socioeconomic and environmental sustainability of the sector, maintaining the wine quality and typicity and promoting the valorisation of its co-products. Among the most important research lines in this field, it should be mentioned the study of the resilience of minority grapevine varieties (almost unknown) under warmer and drier future climates, studies on alternative training systems, such as Guyot or Royat, changes in pruning level, the implementation of deficit irrigation strategies, the application of sunscreen particles (e. g. kaolin), use

of cover crops for soil cover management, genetic profiling, clonal selection, genetic breeding, assessment of genetic diversity using molecular markers and the application of new technologies, such as remote sensing, proximity imagery and sensor networks for precision viticulture. The possibility of including new varieties in a particular DOC, not currently on the list of authorized varieties, is also being considered in current research projects. The reshaping of the wine regions according to the climate change projections of future viticultural suitability and modifications in the strict regulations for vineyard irrigation are also under discussion in Portugal. In oenology there is also significant research on grape microbiome, particularly in the selection of more tolerant yeasts to high alcohol content, and on the study of sugar reduction techniques in the must, such as ultrafiltration and reverse osmosis (expensive techniques), since wines tend to be more alcoholic and less acidic under future climates. More controversial is the possibility of adding water during fermentation (promote lower alcohol content), which is not legal in Portugal today, but it is allowed for example in California and in other Mediterranean-climate wine regions.

Overall, the Portuguese wine cluster is gradually becoming aware of the potential implications of climate change. At the governmental level, specific projects are underway for assisting farmers in converting or restructuring vineyards, partially explaining the gradual lowering of the vineyard area in Portugal. However, more governmental programmes, to be applied at the national scale, must be outlined for a better adaptation, namely training courses for wine growers and wine makers, potentiating a more effective knowledge transfer from R&D units to stakeholders. The biggest wine companies operating in Portugal are also active members of national and European projects covering climate change impacts on viticulture. Winemaker associations and wineries are becoming important players, but more efforts are needed to increase their representativeness and awareness concerning climate change threats. Most of the Portuguese wine growers are elderly people, with low incomes, fragmented properties, poor instruction levels and very low capacity to adapt, thus a regeneration and a reorganization of this class is essential to face new challenges. Climate change and the corresponding adaptation measures can also be an opportunity to promote more cost-effective and environmentally sustainable viticultural practices, though a sustained investment in research and in new solutions is of utmost relevance throughout this highly demanding process.

6. Mitigation and adaptation measures

While mitigation refers to measures that require human involvement, usually over extended time periods, by reducing the sources or enhancing the sinks of greenhouse gases, adaptation can be either a human or a natural response to the current or expected climate change effects (IPCC, 2013). Although the complex relationship between mitigation and adaptation measures are noteworthy, mitigation measures are mainly determined by international and national policies, while adaptation measures generally involve local actions.

Mitigation measures are crucial to hinder disastrous climate change impacts, since a long term stabilization of CO₂ concentrations may limit changes in temperature and precipitation below critical and safe thresholds. As potential mitigation measures in viticulture, tillage practices are of foremost relevance. No-till systems, or minimum tillage, are generally considered a good practice for mitigating carbon emissions from vineyards and for lowering the carbon footprints of the wine industry. A low disturbance of the soil surface indeed promotes higher carbon retention/sequestration. Furthermore, in regions with very steep slopes, no-till systems may also significantly contribute to reduce undesired soil erosion, which is particularly useful when more precipitation extremes are expected in the future. Further research is, however, needed to better assess tillage practices as effective mitigation measures.

Regarding the adaptation measures, they can be divided into short and long term strategies, depending on their implementation time. Short term adaptation measures are considered as the primary protection strategy against climate change and are focused at specific threats (e.g. optimizing production). These measures may imply a very wide range of changes in agricultural practices, namely adaptations in pruning techniques, irrigation, protection against sunburns (Dinis *et al.*, 2017), cover crops, soil tillage, training and trellis systems, among others. For instance, regions under extreme dryness should promote higher water use efficiency, e. g. through the implementation of smart irrigation strategies, in order to warrant their future sustainability with water reservoirs under pressure. The technological advances in oenological practices may also play a key role in maintaining regional wine typicity and quality.

Long term adaptation measures may also be considered, although their application may have significant socio-economic costs, as they generally require a deep reshaping of local viticulture, including landscape changes. These

measures may include the selection of new rootstock-scion pairs, and eventually of new cultivars or clones, more adapted to the future climates, for example with higher water and heat stress resistance. New vineyard design/geometry may also be very effective against climate change. These long term adaptation measures may also imply vineyard re-location, as some regions may become excessively warm or dry for a sustainable viticulture. Shifts to cooler sites, e. g. higher elevations or coastal zones, are effective long term measures that should be taken into account when planning new vineyard sites. These regions may, however, struggle against an increasing risk of pests and diseases, requiring more intense plant protection. In this case, biological control agents should be preferably used, thus reducing the environmental impacts of phytosanitary measures.

Lastly, it should be mentioned that the effectiveness of all these measures (both in the long and short term) largely depends on the strength of local climate change. Changes beyond critical thresholds will largely constrain the effectiveness of most adaptation measures and may ultimately imply the re-location of vineyards to cooler climates or even the abandonment of viticulture in some regions, where this activity will no longer be possible, for example owing to the lack of water resources for irrigation. Therefore, the adaptation measures need to be outlined taking local specificities into account. It is not possible to provide general guidelines that are applicable to all regions or vineyards. Additionally, these latter measures are not an exhaustive list of strategies and others, not mentioned here, might prove to be effective under specific circumstances. New adaptation solutions may also arise in the near future.

Acknowledgements

This work was supported by: the European-funded Clim4Vitis project - Climate change impact mitigation for European viticulture: knowledge transfer for an integrated approach (H2020-WIDESPREAD-05-2017, 810176), the ModelVitiDouro project (PA 53774), funded by the Agricultural and Rural Development Fund (EAFRD) and the Portuguese Government (Measure 4.1–Cooperation for Innovation PRODER programme–Rural Development Programme); the INNOVINE&WINE project (NORTE-01-0145-FEDER-000038), co-funded by the European Regional Development Fund through NORTE 2020 programme; European Investment Funds (FEDER/COMPETE/POCI), POCI-01-0145-FEDER-006958, and Portuguese

Foundation for Science and Technology (FCT), UID/AGR/04033/2013. The postdoctoral fellowship (SFRH/BPD/119461/2016) awarded to H. Fraga is appreciated.

References

- AMERINE, M. A. and WINKLER, A. J. (1944): *Composition and quality of musts and wines of California grapes*. USA, California, Hilgardia.
- DINIS, L. T.; MALHEIRO, A. C.; LUZIO, A.; FRAGA, H.; FERREIRA, H.; GONÇALVES, I.; PINTO, G.; CORREIA, C. M. and MOUTINHO-PEREIRA, J. (2017): «Improvement of grapevine physiology and yield under summer stress by kaolin-foliar application: water relations, photosynthesis and oxidative damage»; *Photosynthetica* 55; doi: 10.1007/s11099-017-0714-3.
- EITZINGER, J.; KUBU, G.; FORMAYER, H. and GERERSDORFER, T. (2009): «Climatic Wine Growing Potential under Future Climate Scenarios in Austria»; *Sustainable Development and Bioclimate: Reviewed Conference Proceedings*; pp. 146-147.
- FRAGA, H.; GARCÍA DE CORTÁZAR ATAURI, I.; MALHEIRO, A. C. and SANTOS, J. A. (2016a): «Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe»; *Global Change Biology* 22; doi:10.1111/gcb.13382.
- FRAGA, H.; SANTOS, J. A.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CARLOS, C.; SILVESTRE, J.; EIRAS-DIAS, J.; MOTA, T. and MALHEIRO, A. C. (2016b): «Statistical modelling of grapevine phenology in Portuguese wine regions: observed trends and climate change projections»; *Journal of Agricultural Science* 154; pp. 795-811.
- HANNAH, L. *et al.* (2013): «Climate change, wine, and conservation»; *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110; pp. 6907-6912.
- HUGLIN, P. (1978): *Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole*. France, Paris, Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture. Académie d'agriculture de France.
- IPCC (2013): «Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers»; *Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*.

- JONES, G. V.; WHITE, M. A.; COOPER, O. R. and STORCHMANN, K. H. (2004): *Climate and Wine: Quality Issues in a Warmer World*. Proceedings of the Vineyard Data Quantification Society's 10th Econometrics Meeting. France, Dijon.
- LAZOGLOU, G.; ANAGNOSTOPOULOU, C. and KOUNDOURAS, S. (2017): «Climate change projections for Greek viticulture as simulated by a regional climate model»; *Theoretical and Applied Climatology*.
- NEUMANN, P. A. and MATZARAKIS, A. (2014): «Estimation of wine characteristics using a modified Heliothermal Index in Baden-Württemberg, SW Germany»; *International Journal of Biometeorology* 58; pp. 407-415.
- OIV (2017): *World vitiviniculture situation - Statistical report on World Vitiviniculture*. Bulgaria, Sofia, OIV; pp. 20.
- Ramos, M. C. (2017): «Projection of phenology response to climate change in rainfed vineyards in north-east Spain»; *Agricultural and Forest Meteorology* 247; pp. 104-115.
- Riou, C. et al. (1994): *Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: Application au zonage de la teneur en sucre dans la Communauté Européenne*. Luxembourg, Office des Publications Officielles des Communautés Européennes.
- SANTOS, J. A.; MALHEIRO, A. C.; KARREMANN, M. K. and PINTO, J. G. (2011): «Statistical modelling of grapevine yield in the Port Wine region under present and future climate conditions»; *International Journal of Biometeorology* 55; pp. 119-131.
- SANTOS, J. A.; MALHEIRO, A. C.; PINTO, J. G. and JONES, G. V. (2012): «Macroclimate and viticultural zoning in Europe: observed trends and atmospheric forcing»; *Climate Research* 51; pp. 89-103.
- TONIETTO, J. and CARBONNEAU, A. (2004): «A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide»; *Agricultural and Forest Meteorology* 124; pp. 81-97.
- WEBB, L. B.; WHETTON, P. H.; BHEND, J.; DARBYSHIRE, R.; BRIGGS, P. R. and BARLOW, E. W. R. (2012): «Earlier wine-grape ripening driven by climatic warming and drying and management practices»; *Nature Climate Change* (2); pp. 259-264.

Impactos y adaptación al cambio climático en España

Vicente Sotés Ruiz

Universidad Politécnica de Madrid

Resumen/Abstract

Los efectos del clima sobre el viñedo tienen una gran incidencia económica y tecnológica, por lo que muchos productores son conscientes de la problemática del cambio climático y se están estudiando los posibles riesgos y oportunidades. Este capítulo analiza dichos efectos del cambio climático en el viñedo, evaluando los posibles impactos regionales en España. El clima de una zona determina las características del vino obtenido, especialmente su tipicidad, por el efecto en el desarrollo de los procesos de maduración y en la adaptación del ciclo de las variedades, por lo que un cambio climático puede originar la pérdida de la producción específica de ciertas regiones. De la misma manera, las nuevas condiciones climáticas pueden favorecer el desarrollo de la vid en zonas donde actualmente no es posible su cultivo, lo que origina una reconsideración de las áreas vitícolas en el futuro.

.....

The effects of climate on the vineyard are of great economic and technological influence, which is why many are producers are conscious of the climate change issue and are studying the possible risks and opportunities. This chapter analyzes the effects of climate change on the vineyard, evaluating the possible regional impacts in Spain. The climate of a certain zone impacts the characteristics of the wine obtained, especially its typicity, by affecting the development of the maturation processes and the adaptation of the varietal cycle, so that climate change can cause the loss of production specific to certain regions. In the same way, new climatic conditions can favor the development of the vine in areas where its cultivation is currently not possible, which will cause a reconsideration of viticultural areas in the future.

1. Introducción

1.1. Retos del cambio climático para el viñedo

Una modificación de las características climáticas actuales afectaría a la distribución de la vegetación natural y a la agricultura, puesto que la radiación solar, el agua y la temperatura controlan el crecimiento y la reproducción de las plantas (Ewert *et al.*, 2005). Por otra parte, los cultivos responden directamente a una elevación en la concentración de dióxido de carbono atmosférico (CO₂) incrementando –en teoría– su biomasa y su eficiencia en el uso del agua. Sin embargo, estudios recientes cuestionan hasta qué punto estos efectos directos del CO₂ se manifiestan en condiciones de cultivo donde la planta está sometida a condiciones limitantes de otros factores que influyen en el crecimiento. Al mismo tiempo, el cambio climático implica una modificación de factores clave: salinización, sequía, inundaciones, deterioro de la calidad del agua y erosión del suelo, que muchas veces tienen importantes consecuencias sobre la producción (Rosenzweig *et al.*, 2002).

Dada la importancia del clima en la vid, cualquier modificación de las condiciones climáticas de una región podría alterar el equilibrio con el suelo y la planta. El trabajo realizado en estas últimas décadas en el estudio del clima indica que van a continuar los cambios en el régimen de temperaturas y de precipitaciones. Esto podría ocasionar alteraciones no solo en la fenología de la vid, sino también en los patrones de enfermedades y plagas, en el potencial de maduración y, en definitiva, en la calidad de la uva y en el rendimiento de la vid en mayor o menor medida (Schultz, 2000; Jones *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2012; Bindi *et al.*, 1999). Estos cambios incluyen la frecuencia e intensidad de determinados fenómenos climáticos adversos, como sequías o inundaciones, que podrían limitar aún más la capacidad de adaptación.

1.2. Escenarios climáticos en España

La diversidad climática de la península ibérica hace que sea un lugar privilegiado para que se produzcan vinos de características muy diferenciadas (Sotés *et al.*, 2012). A esta diversidad hay que añadir la elevada variabilidad climática interanual y la notable amplitud de valores diarios extremos. Por ejemplo, el coeficiente de variación pluviométrico interanual está entre el 20 % y el 40 % (Castro *et al.*, 2005). Como consecuencia del incremento de la temperatura y la disminución de la lluvia en las últimas décadas, sobre

todo en la parte meridional (Moreno Rodríguez, 2005), se ha producido un aumento de la evapotranspiración, limitando más aún la disponibilidad y calidad del agua. En el viñedo, la intensidad de estos fenómenos da lugar a las variaciones interanuales de calidad y rendimiento en cada añada.

A medio y largo plazo todas las proyecciones climáticas son significativas. El IPCC (Panel Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático de Naciones Unidas) proporciona escenarios regionales para distintos supuestos de emisiones de gases a la atmósfera. Los resultados para el escenario de emisiones medias de CO₂ (que es el más adoptado en los estudios, por ejemplo el A1B) indican un calentamiento continuo durante el siglo XXI, con tendencia a incrementarse en los últimos años. Este calentamiento que se acentúa en la última mitad del siglo XX no es homogéneo: es mayor en zonas interiores, por ejemplo en la meseta sur peninsular, en algunas zonas de montaña, y menor en las zonas costeras, especialmente en la cornisa cantábrica.

La tendencia en España es un descenso de las precipitaciones respecto a la situación actual y al período desde 1951 hasta 2000. Como en el caso de las temperaturas, el comportamiento general viene a empeorar en los últimos años de la serie. También se observa cierta asimetría en cuanto a la evolución de las precipitaciones, aunque todas a la baja. Se observa una mayor caída en la mitad sur occidental, de hasta casi el 30 % en el valle del Guadalquivir y menor también en el valle del Ebro, mientras que en Galicia y las zonas más montañosas del norte peninsular la caída sería bastante menor, alrededor del 5 %.

También hay que tener en cuenta el volumen medio diario de la lluvia, debido a los posibles efectos sobre la erosión de los suelos y a los posibles daños en los cultivos por lluvias torrenciales e inundaciones. Todas las proyecciones parecen indicar un crecimiento de la intensidad de las lluvias, ya que se incrementa la cantidad diaria de precipitaciones superiores a 150 mm, mayormente en los decenios que abarcan desde 2011 a 2030. Todos estos datos analizados conjuntamente parecen indicar un aumento tanto de los períodos de sequía junto con los de las lluvias torrenciales y de las inundaciones.

2. Efectos de variaciones del clima en el viñedo

En el viñedo, el clima es el factor más determinante en la producción vitivinícola debido a su influencia en la fisiología de la vid a través de la temperatura, la lluvia, la evapotranspiración potencial y las horas de sol y viento (Riou *et al.*, 1994). El clima de una zona determina el potencial productivo de

la viña y las características del vino obtenido, especialmente su tipicidad, por el efecto en el desarrollo de los procesos de maduración y adaptación del ciclo de las variedades, por lo que un cambio climático puede originar la pérdida de la producción específica de ciertas situaciones (denominaciones de origen, *terroir* y otras características).

Las proyecciones climáticas para la década de los 2050 indican un aumento de la temperatura, una gran variabilidad de la precipitación y un gran aumento de las olas de calor y sequía en gran parte de España, así como una mayor frecuencia de episodios extremos, heladas y pedriscos, con grandes diferencias regionales debido a su compleja topografía. Estos cambios pueden condicionar algunos tipos de impacto, que pueden afectar tanto a la calidad de la uva como a la productividad, y tienen influencia en el rendimiento económico de la explotación y en la capacidad del sector vitivinícola español para competir en el mercado internacional.

El cambio climático plantea riesgos importantes para la producción vitivinícola, de manera que unas nuevas condiciones climáticas pueden favorecer el desarrollo de la vid en zonas donde actualmente no es posible su cultivo, especialmente por limitaciones térmicas, lo que origina una reconsideración de las áreas vitícolas en el futuro. Los impactos se resumen en la Tabla 1 y se describen a continuación.

La vid es una planta sensible a heladas y exigente en calor para su desarrollo vegetativo y la maduración de los frutos. Las variedades cultivadas resisten temperaturas en período de vegetación de hasta -1,5 °C, y en período invernal de hasta -15 °C para las yemas y -20 °C para la madera. Las temperaturas durante el período activo de vegetación y su amplitud, son aspectos críticos debido a su gran influencia en la capacidad de maduración de las uvas y en los niveles de azúcar, acidez y aromas que caracterizan un determinado estilo del vino y su calidad (Jones *et al.*, 2005). Aunque la cantidad de calor que la uva requiere para madurar completamente varía enormemente entre las diferentes variedades, la temperatura media anual óptima está entre los 11 °C y los 18 °C. La temperatura del aire en el período de maduración (Jackson y Lombard, 1993) o más aún, la diferencia de temperaturas entre el día y la noche durante este período tienen grandes influencias en el proceso, incluyendo los aromas y la coloración (Kliewer, 1973; Fregoni y Pezzutto, 2000; Tonietto y Carbonneau, 2004). La duración del período de crecimiento está directamente relacionada con la temperatura del aire, con la humedad del suelo y con las técnicas de cultivo aplicadas al viñedo (Webb *et al.*, 2012).

Tabla 1. Posibles efectos positivos y negativos de las variables meteorológicas en la producción del viñedo

Factor de cambio	Posibles beneficios	Posibles efectos negativos
Aumento de temperaturas	Períodos de crecimiento más rápidos. Menor riesgo de heladas.	• Aumento del estrés térmico. • Disminución de la calidad (menor acidez, color y taninos). • Aumento grado alcohólico. • Exceso de desarrollo vegetativo. • Mayor riesgo de incendios. • Aumento de plagas. • Aumento de variabilidad de rendimientos.
Disminución de la precipitación	Menor riesgo de enfermedades en zonas húmedas. Mejora de la calidad en zonas húmedas.	• Aumento de la frecuencia de sequías. • Mayor riesgo de incendios. • Disminución de rendimientos. • Aumento del déficit hídrico.
Aumento de lluvias intensas o tormentas	Mayor contenido de agua en el suelo.	• Aumento de la erosión. • Mayor riesgo de enfermedades. • Daños en las plantas por inundaciones o granizo.
Aumento del CO ₂ en la atmósfera	Posible aumento de producción de biomasa.	• Aumento de la variabilidad de la producción en respuesta a mayor variabilidad del clima.

Fuente: elaboración propia.

La relación entre la producción de materia seca del viñedo y la disponibilidad de agua ha sido abordada en muchos trabajos. En el caso de cultivos en secano (en España el 70 % del viñedo es secano) la disponibilidad de agua depende solamente de la lluvia (cantidad, distribución temporal, capacidad de retención de los suelos, niveles de escorrentía, criterios seguidos en la plantación...), mientras que en los cultivos en regadío las técnicas de aplicación y las estrategias de riego son aspectos determinantes tanto en la producción global de materia seca como en la distribución entre los componentes del rendimiento (Bartolomé, 1993).

Con un régimen higrométrico bajo se pueden ver favorecidos los efectos depresivos en la planta, especialmente cuando existe déficit hídrico; por ello, es interesante estudiar los períodos con humedades relativas (HR) menores del 40 %. La actividad fotosintética óptima se produce a 60-70 % de HR. Las humedades relativas altas (más del 80 %) conllevan el riesgo para el desarrollo de enfermedades criptogámicas.

El viento ejerce su acción en dos sentidos; en primer lugar porque modifica favorable o desfavorablemente la acción de otros elementos meteorológicos y, en segundo, por los daños mecánicos producidos por acción directa, como

son las pérdidas de pámpanos, hojas e inflorescencias. Su importancia se ve influida por la topografía del terreno y las características específicas de la zona.

En zonas sin limitaciones de temperatura, en la actualidad el cambio climático provoca un crecimiento vegetativo primaveral excesivo. Además, la disminución de la precipitación y el aumento de la evapotranspiración incrementan el déficit hídrico durante las fases herbáceas de la baya y en la maduración, e incluso la falta de agua puede acusarse antes de floración. La consecuencia es un acortamiento y aceleración del crecimiento de la baya, una maduración más rápida y con menor oscilación térmica diaria, lo que induce una disminución de la acidez y aumento del contenido en azúcar en menos tiempo. Estas condiciones favorecen además el aumento del contenido en potasio y la elevación del pH del mosto y, en general, con mayor desfase entre la maduración de la pulpa (aumento del contenido en azúcares y disminución de la acidez) y la de la piel, dado que el metabolismo de la maduración aromática y fenólica son más lentos y precisan de períodos más largos. Además se aumentan los riesgos de que se produzcan pérdidas de aromas, oxidaciones, paradas en síntesis de antocianos, etc. En otro orden, se pueden acelerar y acortar fases del ciclo vegetativo y anticipar la senescencia de las hojas.

3. Análisis geográfico de los efectos del cambio climático en España

En los últimos años, el estudio de la zonificación vitícola ha adquirido mucha importancia, alentado por los esfuerzos de todo el mundo para producir vinos de calidad para unos mercados altamente competitivos. Dentro de esta zonificación los índices bioclimáticos son muy útiles para medir la influencia del clima en el desarrollo de la vid y la maduración de la uva y ayudar así a una correcta elección de la variedad para cada zona.

Tonietto y Carbonneau (2004) establecieron un sistema de clasificación climática multicriterio de regiones vitícolas, sobre la base de la integración de las diferentes clases de los tres índices climáticos más importante (heliotérmico, frescor nocturno y sequía), que constituye el clima de cada región. Resco *et al.* (2014) han usado esta metodología y los datos de escenarios regionales del proyecto ESCENA para evaluar los efectos del cambio climático en las regiones de España. Los resultados se resumen a continuación.

El análisis del índice de Huglin para los escenarios climáticos muestra que las regiones más cálidas de la mitad sur peninsular cambian hacia climas más cálidos (Figura 1), alcanzando para 2050 prácticamente todo el valle del Guadalquivir, el valle del Guadiana en Badajoz, el valle del Tajo, entrando ya en Toledo, además de Murcia y Alicante. En general, esta situación se repite en las demás cuencas de los ríos aunque sin llegar al clima más cálido en el resto de cuencas. A medida que transcurren los años los climas más cálidos ascienden por los valles, llegando a haber cambios en la clasificación hasta la parte alta de los valles: Rioja-Álava en el Ebro, Burgos y Soria en el Duero y Orense-Lugo en la cuenca del Miño-Sil. También se producen cambios en zonas costeras, siendo más claros en la zona costera de Pontevedra, Cataluña y Comunidad Valenciana, así como en las Islas Baleares, donde los climas más cálidos van ascendiendo en altitud paulatinamente.

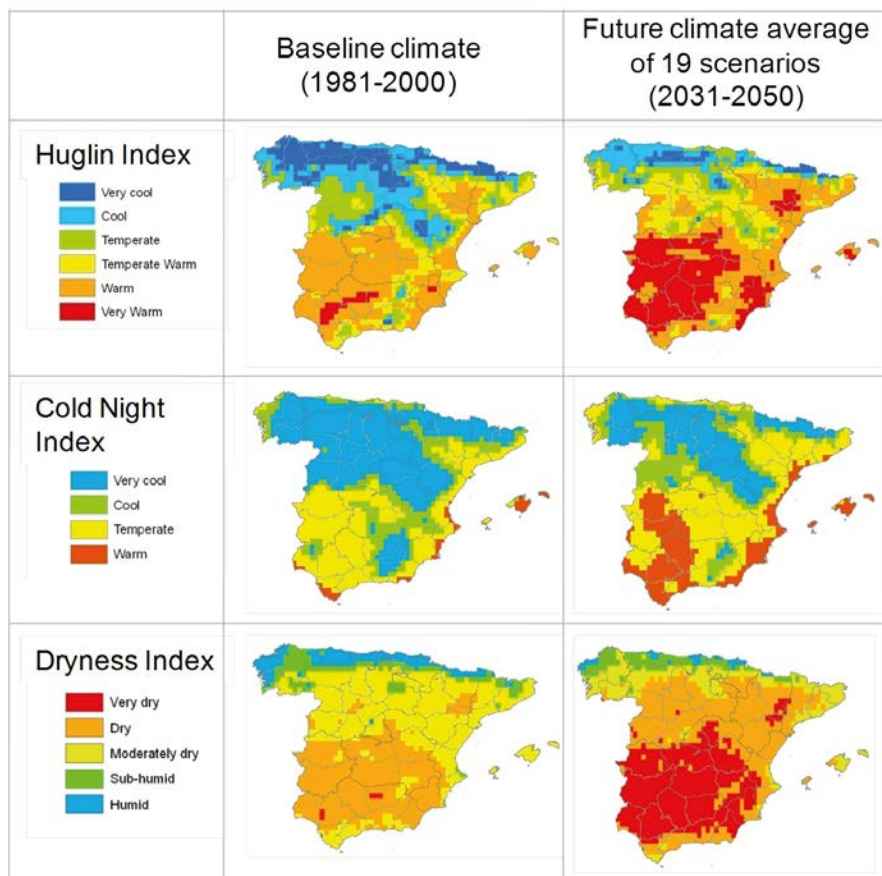
El análisis del índice de frescor nocturno (Figura 1) muestra como las zonas más frías quedan restringidas a las áreas montañosas del sistema Central, Ibérico, Pirineos y la cordillera Cantábrica con algún punto en el Bético, mientras que las más calurosas van ascendiendo desde la costa por los valles. A mediados de siglo quedarían como lugares con noches cálidas prácticamente todo el valle del Guadalquivir y las zonas más costeras del arco mediterráneo; mientras, contarían con noches templadas el resto de las costeras y la cuenca media de los ríos Ebro, Duero y Guadiana. Por su parte, el valle del Duero, la parte media del Miño-Sil y La Rioja, Álava, parte de Navarra, aunque con noches más cálidas, seguirían con frescor nocturno.

Finalmente, con la proyección del índice de sequía, se observa como las zonas más secas van aumentando a medida que pasan los años, llegando a niveles muy secos todo el sur peninsular y las cuencas baja y media del valle del Ebro (Figura 1). Incluso gran parte del valle del Duero podría para mediados del siglo XXI cambiar hacia climas secos o muy secos.

Con el fin de identificar los principales factores limitantes se han agrupado geográficamente zonas con un comportamiento climático homogéneo para cada uno de los índices bioclimáticos.

Obviamente dentro de cada una de las zonas habría variaciones debido a la presencia de diversos microclimas o la existencia de zonas de transición, como por ejemplo la Rioja Baja y la Rioja Alavesa que poseen un clima con influencias mediterráneas (valle del Ebro) y atlánticas (zona cantábrica) respectivamente.

Figura 1. Índice de Huglin, índice de frescor nocturno e índice de sequía calculados para el clima actual (1981-2000) y para la media de 19 escenarios de cambio climático (2031-2050) que abarcan el rango de posibilidades de clima futuro del IPCC



Fuente: Resco *et al.* (2015).

Nos encontramos con cuatro tipos de zonas:

- *Zona I:* incluiría el sur peninsular, con grandes incrementos de temperaturas y con crecimiento acusado de los problemas de sequía. En este grupo se pueden definir dos subzonas: a) la más continental (Extremadura y Andalucía casi en su totalidad), donde los cambios serían más graves y b) la que tiene más influencia mediterránea del sureste (Murcia, incluyendo zonas de Andalucía con más influencia mediterránea), donde los cambios serían algo menores.

- *Zona II:* estaría compuesta por el noreste peninsular, incluyendo la cuenca baja y media del Ebro, donde los impactos serían algo menores, salvo en el caso de la sequía, más si cabe si subimos en altitud.
- *Zona III:* en el valle del Duero, sería la más compleja, ya que se enfrenta a unos grandes aumentos de temperatura, lo que unido a la disminución del agua disponible para el viñedo podría tener graves impactos en las zonas más bajas del valle, aunque estos problemas disminuirían de forma clara a medida que se sube en altitud, haciendo posible el cultivo en las zonas más frías. Por otro lado, debido a su continentalidad, muchas de estas zonas conservarían las diferencias entre temperaturas diarias y nocturnas en la maduración.
- *Zona IV:* presentaría aumentos ligeros de la temperatura en comparación con el resto pero con mayores incrementos de la sequía, aunque sin llegar a suponer ningún problema.

4. Estrategias de mitigación y reducción de gases de efecto invernadero

La mitigación se refiere al control de las emisiones de gases de efecto invernadero. El objetivo es aumentar los sumideros de CO₂, limitar las emisiones de CO₂ y, al mismo tiempo, mantener la capacidad de adaptación a condiciones más extremas, la competitividad –abaratando el cultivo (ajustes de consumos e insumos)–, los estilos del vino para los mercados y la protección del medioambiente.

4.1. La viña como sumidero de CO₂

La fotosíntesis es el proceso por el que se convierte la energía solar en energía química de la materia productiva a partir de la fijación del CO₂ de la atmósfera por los órganos verdes, del agua, del suelo y de la energía del sol. Todos los productos de la vid se originan a partir de la fotosíntesis. La materia seca acumulada en la planta es el resultado de la fotosíntesis bruta menos las cantidades consumidas en la respiración, biosíntesis y mantenimiento, y fotorespiración (Tabla 2).

Tabla 2. Procesos y componentes agronómicos de la viña y CO₂ consumido

Procesos y componentes	% CO ₂ consumido
Respiración	50,0
Tallos y hojas del año	19,1
Biomasa del racimo	12,8
Azúcares en las uvas	10,6
Reservas carbohidratos	5,2
Estructuras permanentes	2,3
Total	100,0

Fuente: Williams (1995).

Se calcula que el viñedo en las condiciones típicas de España fija (extrae de la atmósfera) entre 6 y 7 t/ha y año de CO₂. Sin embargo, puesto que la producción de uva se transforma en vino en su mayor parte, a esta cifra hay que restarle las emisiones de CO₂ que tienen lugar durante la fermentación de la uva. Estudios en Nueva Zelanda y EEUU estiman en unas 1,3-1,5 t/ha y año la emisión de CO₂ por la fermentación de la uva. Por tanto, la fijación neta de carbono de una hectárea de viñedo para vinificación puede suponer entre 5 y 5,5 t/ha y año, lo que en España son más de 5 millones de t de CO₂ al año para el conjunto del viñedo.

4.2. Balance de carbono de la viticultura

Se entiende por «huella de carbono» o por «balance de gases de efecto invernadero» a la suma ponderada de las emisiones y las absorciones de gases de efecto invernadero de un proceso, un sistema de procesos o un sistema de producto, expresado en equivalentes de CO₂, tal y como ha sido definida en la metodología establecida por la OIV.

En el sector vitivinícola se suele referir a la huella de una botella de vino de 0,75 l de capacidad situada en el punto de venta, en la que se consideran los distintos aspectos de la aportación de la viticultura, los procesos enológicos, el embotellado, acondicionamiento, transporte y distribución del producto.

La viña asigna CO₂ en la fotosíntesis, sin embargo, esta capacidad de fijar CO₂ es menor que el total de las emisiones producidas en el ciclo anual de producción del viñedo (maquinaria y combustibles, fabricación y aplicación

de fertilizantes y pesticidas, eliminación y reciclado de restos de poda y residuos, emisión de NO_2 en el suelo, parte proporcional de la implantación –roturaciones, estructuras de postes y alambres...–, electricidad en instalaciones agrícolas, entre otras). Por tanto, es necesario desarrollar prácticas agrícolas y de producción con menores emisiones.

4.3. *Potencial mitigador de algunas técnicas agrarias usadas en viticultura*

La Tabla 3 resume el potencial de mitigación de algunas prácticas agrarias de especial interés para el desarrollo de políticas agrarias en casi todas las regiones. También se han evaluado los posibles efectos adicionales positivos y negativos derivados de la implementación a gran escala de dichas prácticas agrarias (Iglesias y Medina, 2009). En la mayoría de los casos, además de reducir las emisiones, las prácticas seleccionadas tienen efectos positivos significativos sobre el control de la erosión, la contaminación difusa y el medioambiente en general. Los beneficios medioambientales derivados de la implantación de este tipo de medidas incluyen efectos favorables sobre la biodiversidad, la reducción de la erosión del suelo, el incremento de la precipitación efectiva y la disminución de la pérdida de nutrientes, y pueden tener ciertos efectos negativos sobre el medioambiente como, por ejemplo, el incremento del gasto energético que supone el proceso de picado e incorporación al suelo de los restos de cosecha o poda, o la posible mayor incidencia de algunas enfermedades a causa del incremento de inóculo aportado al suelo.

Tabla 3. Potencial mitigador de distintas técnicas agrarias

Medida	Media t CO_2 /ha y año	Rango t CO_2 /ha y año
Cubiertas vegetales	0,33	-0,21 a -1,05
Laboreo reducido	0,17	-0,52 a -0,86
Gestión restos poda	0,17	-0,52 a -0,86
Optimización fertilizantes	0,33	-0,21 a -1,05

Fuente: Iglesias y Medina (2009).

5. Necesidades de adaptación

Las características de clima regional hacen que los cambios supongan distintos retos en las diferentes zonas vitivinícolas. Primero, existen regiones hoy limitadas o muy condicionadas para el cultivo de la vid (zonas relativamente frías, con excesos de precipitación) que con un aumento de las temperaturas pueden encontrar una situación más favorable. Entre estas se encuentran las más elevadas del noreste y de los valles del Ebro y del Duero, así como de la cornisa cantábrica y Galicia. En el otro extremo, hay viñedos que se pueden ver muy negativamente afectados por un aumento de la temperatura y del déficit de agua durante el período activo de la vid. Entre ellas, las más perjudicadas están las zonas más cálidas: las más continentales de Castilla-La Mancha, Extremadura, Andalucía y, en menor medida, aquellas con cierta influencia mediterránea como la costa mediterránea y el valle del Ebro.

Para enfrentarse a estos impactos sería necesario, dentro de cada mesoclima o microclima, buscar los sistemas de adaptación necesarios, desde modificaciones en las prácticas de cultivo o en las técnicas enológicas –que de forma más económica permitirían hacer frente a pequeños cambios– hasta traslados de las zonas de cultivo de la vid a sitios más frescos –jugando con la altitud y la latitud–, con grandes costes económicos y sociales. Ya que el cambio climático es un proceso continuo, es apropiado el estudiar diversas medidas según sus efectos en el tiempo.

Todas las medidas de adaptación tienen efectos más o menos marcados y, a su vez, tienen niveles distintos de posibilidades de aplicación, tiempo de implantación o de costes. De esta forma hay que distinguir entre medidas a corto plazo, que se suponen de más fácil implantación, aunque con efectos limitados ante grandes cambios, y medidas a largo plazo que requieren más inversión y tiempo de implantación.

Las adaptaciones a corto plazo pueden ser consideradas como la primera estrategia de protección contra el cambio climático y deben centrarse en amenazas específicas, con el objetivo de optimizar la producción. Estas medidas en su mayoría implican cambios en las prácticas enológicas a través de los avances tecnológicos (Lobell *et al.*, 2006), que pueden tener efectos positivos sobre la calidad del vino. A medio plazo, se basan más en la gestión del viñedo, que implican más esfuerzo, pero que pueden ayudar a mejorar la adaptación ante cambios más pronunciados. Las prácticas de cultivo pueden influir en la habituación de diversas formas.

Ante un aumento de la temperatura y una disminución del agua disponible, especialmente en el verano, hay que actuar para evitar el exceso de recalentamiento en las partes verdes. En las hojas, a base de asegurar una transpiración suficiente, con una gestión óptima de la reserva hídrica del suelo o con la aportación de agua de riego, por lo que es fundamental facilitar la profundidad de enraizamiento con la preparación del terreno y la elección del portainjerto. Carbonneau (2010) señala el efecto favorable de calles amplias, plantas relativamente próximas en la línea y una buena exposición foliar en la profundización del sistema radicular.

Los racimos son muy frágiles a las temperaturas elevadas (pueden tener una temperatura de 15 °C superior a la del aire, por su falta de transpiración), por lo que es necesario mantenerlos protegidos de la exposición directa. Por tanto, hay que procurar una buena porosidad de la superficie foliar para favorecer la ventilación –y su refrigeración–, su buen estado sanitario y su fácil acceso, pero evitando la sobreexposición a la luz solar.

El manejo del suelo y el desarrollo de cubiertas vegetales o laboreos mínimos son los más adecuados para evitar erosión ante lluvias fuertes (Kroodsma y Field, 2006), pero la cubierta implica un mayor consumo de agua, lo que puede ser un gran inconveniente en zonas áridas. Sin embargo, una cobertura de la superficie con *mulching* de paja puede tener efectos positivos sobre el contenido en agua del suelo (Judit *et al.*, 2011).

El riego debería establecerse con métodos y controles para disminuir el consumo de agua (estrategias de riego deficitario, desecación parcial de raíces o riego con déficit sostenido) y con indicadores del estado hídrico a nivel del suelo y de la planta. Una gestión sostenible del agua (junto con su disponibilidad) puede ser una estrategia rentable económicamente para el productor de uva (García *et al.*, 2012), proporcionando una solución de compromiso entre los costos ambientales y los requisitos de la planta en agua, que es muy pertinente en virtud de las cada vez mayores necesidades hídricas en el sur de Europa (Bruinsma, 2009). Aun así, esta estrategia es limitada puesto que la disponibilidad de agua para riego es cuestionable debido a la hidrogeología, a la competencia entre usuarios y a la aplicación de la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE). Estos factores económicos, sociales y medioambientales dificultan el futuro de los regadíos existentes y limitan la posibilidad de aumentar la superficie regada.

Los sistemas de conducción y poda pueden ayudar a mejorar la protección de los racimos contra la insolación excesiva, pero hay que considerar su

efecto en el consumo de agua por el incremento de transpiración a mayor superficie foliar y en los procesos fisiológicos. Ha de buscarse un equilibrio adecuado entre la superficie foliar productiva y el peso de la cosecha, limitando la superficie foliar total excedentaria para no provocar un consumo excesivo de agua y un amontonamiento de la vegetación con muchas hojas sombreadas, parásitas. Las formas más libres, con vegetaciones inclinadas, son más favorables que las verticales, excesivamente constreñidas y que pueden crear una población de hojas parásitas, y no activas en el interior. El espesor de la vegetación debe ser adecuado, en su caso, para el buen funcionamiento de las máquinas vendimiadoras de sacudida horizontal.

Una altura de tronco mayor ayuda a reducir el exceso de temperatura de los racimos pero puede provocar un consumo de agua ligeramente más elevado. La reducción de la altura del dosel de vegetación ayuda a limitar el consumo de agua, pero ello no debe producirse a base de despuntes intensos ni frecuentes que puedan provocar un amontonamiento de la vegetación con gran desarrollo de nietos y hojas envejecidas o parásitas.

Las intervenciones en verde son críticas y, en muchos casos, se deben plantear con criterios muy diferentes de los utilizados hasta ahora donde, sin los riesgos provocados por el cambio climático, se ha buscado una mayor exposición solar en los racimos y en las hojas para conseguir una uva equilibrada y bien madura.

Las estrategias de cultivo del viñedo deben de ir dirigidas a atenuar los efectos de la radiación y de las altas temperaturas en hojas y racimos y, también, a evitar el déficit hídrico inadecuado o excesivo, a regular el crecimiento durante el ciclo vegetativo, a conseguir que la maduración se produzca con temperaturas adecuadas, a controlar y restringir la acumulación de azúcares y potasio y el nivel de pH y a sincronizar la maduración tecnológica de la pulpa con la fenólica y la aromática, promoviendo estas últimas.

Las exigencias durante el período de maduración son diferentes para vinos sencillos que para los vinos con muchos matices. Las maduraciones rápidas, en períodos breves, no son por lo general aconsejables para la obtención de vinos complejos. Así pues, las variedades deberán estar bien adaptadas a excesos de insolación y temperatura y, a ser posible, a la sequía. En la mayor parte de los casos, las de ciclo corto y maduración rápida ocasionarían más problemas, por ese motivo, la utilización de patrones de ciclo largo es más interesante. La situación se puede ir modificando y el viticultor tiene que

adaptarse continuamente a las condiciones cambiantes, acomodando las estrategias de producción al tipo de vino deseado.

El clima tiene una importancia notable en el comportamiento de las plagas y enfermedades y están previstos cambios en la distribución geográfica, con un mayor riesgo en la aparición de nuevas afecciones y la intensidad de los daños en general, a consecuencia de la extensión de la estación de desarrollo del viñedo, de la mayor velocidad de multiplicación e incremento en el número de generaciones y de la alteración de las interacciones y sincronía viñedo-plaga. Es preciso afrontar una defensa razonada y modelizada, teniendo en cuenta que la introducción de nuevas técnicas de control y el cambio de materias activas también pueden ocasionar alteraciones (Sotés, 2014).

Más a largo plazo, las medidas de adaptación afectan principalmente a las variedades y a cambios de ubicación de los viñedos (Malheiro *et al.*, 2010). Es importante ampliar la diversidad genética de las variedades tradicionales y desarrollar nuevas especies, mejor adaptadas a riesgos fitosanitarios y estreses térmicos e hídricos, y delimitar las nuevas zonas con aptitudes favorables para el establecimiento del nuevo viñedo futuro. Estas medidas plantean problemas de inversión a los viticultores y bodegueros, además de posibles problemas normativos con las denominaciones de origen. Cambios a sitios más frescos, a altitudes más elevadas y a latitudes mayores implican cambios en las condiciones mesoclimáticas y microclimáticas del viñedo, con mayores riesgos de heladas, granizo y viento. Las plantaciones en las zonas cálidas serían más convenientes en valles frescos o terrenos con laderas expuestas de norte a este, tratando de evitar las laderas de exposición a mediodía y hacia poniente, que acentúan las altas temperaturas. Las orientaciones de las filas del viñedo se pueden desviar hacia el este con N-S +20°, N-S + 30° o más, para exponer menos la cara durante la tarde, que resulta más calurosa, con menor higrometría y con las hojas con un estado hídrico más desfavorable.

Los efectos del cambio climático afectan al viñedo en aspectos de gran incidencia económica y tecnológica, por lo que muchos productores son conscientes de la problemática y están estudiando la aplicación de diversas prácticas. La Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV) ha incluido esta preocupación en su plan estratégico. A partir de una encuesta se pretende agrupar la información de los distintos estados de las consecuencias sobre el territorio (gestión del agua y de los paisajes), sobre las zonas de producción, variedades y patrones, fisiología y maduración de la uva, fenología, composición de los racimos, plagas y enfermedades y también sobre los productos (tipicidad

de los vinos). Además, se afronta la información sobre las adaptaciones (genética, fisiológica, prácticas vitícolas, gestión del suelo y de la fertilización, gestión del agua, sistemas de conducción, plagas y enfermedades).

6. Conclusiones

El sector vitivinícola está muy globalizado, ya que más del 43 % del vino consumido en el mundo se exporta (OIV, 2017), lo que plantea una dura competencia internacional por calidad (imagen, gustos del consumidor, etc.) y por precio. El clima es el factor de producción más determinante de las posibilidades y vocación del medio, en relación con las exigencias precisas de las variedades de vid cultivadas y los destinos de la producción.

Los escenarios de clima futuro implican cambios potenciales –riesgos y oportunidades– en la mayor parte de los sistemas de producción y, particularmente, en España.

En muchos casos, la imagen del vino está marcada por la tipicidad o la peculiaridad, muy dependiente de la zona geográfica de producción, en donde se ha desarrollado una normativa o regulación basada en criterios y observaciones históricas en un contexto climático determinado que han hecho posible la consideración de vinos protegidos por denominaciones de origen, *terroir* o figuras similares. Las alteraciones climáticas plantearán en muchos casos la necesidad de una revisión normativa en algunas de estas zonas.

Por el contrario, en otras situaciones donde la producción se basa más en criterios agronómicos clásicos y con una mayor eficiencia productiva, las normativas no son tan estrictas en cuanto a delimitación de terrenos o zonas y resultará más factible el empleo de las medidas de adaptación al cambio climático. Además, hay que considerar que los cambios en el clima ocasionarán la irrupción de nuevos vinos procedentes de zonas donde antes no era posible cultivar viñedos por las condiciones climáticas y que pueden alterar el mercado.

Los cambios en zonificación y productividad afectan a la viticultura española frente a los mercados internacionales. A través de la historia, la viticultura ha demostrado su capacidad de adaptación a cambios de tecnología, de recursos y en la demanda. Sin embargo, la capacidad de respuesta depende de limitaciones en infraestructura, de disponibilidad de recursos y de regulaciones agrarias. La mayor parte de los viticultores españoles se pueden adaptar

potencialmente al cambio climático, teniendo en cuenta los avances científicos y tecnológicos y el nivel de desarrollo; sin embargo, no todas las regiones y sistemas de cultivo tienen el mismo potencial de adaptación. El reto para los viticultores es definir su estrategia productiva y de inversión frente a un futuro incierto. En las condiciones actuales, donde el clima es cambiante, el pasado no sirve como experiencia para el futuro.

Referencias bibliográficas

- BARTOLOMÉ, C. (1993): «Respuestas de la vid (*Vitis vinifera* L.) a condiciones de estrés hídrico: efecto sobre las relaciones agua-planta, el crecimiento, la producción y la calidad (cv. Tempranillo)»; *Tesis doctoral*. Universidad Politécnica de Madrid.
- BINDI, M.; FIBBI, L. y GOZZINI, B. (1996): «Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability of grapevine». *Clim. Res.* 7; pp. 213-224.
- BRUINSMA, J. (2009): *The Resource Outlook to 2050: By how much do land, water and crop yields need to increase by 2050?* Rome, Food and Agriculture Organization.
- CARBONNEAU A. (2010): «L'évolution de la conduite du vignoble en fonction du changement climatique»; *Progrès Agricole et Viticole* 127(5-6); pp. 105-107.
- CASTRO, M.; MARTÍN-VIDE, J. y ALONSO, S. (2005): «El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI»; en Moreno, J. M.: *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente; pp. 1-64.
- EWERT, F.; ROUNSEVELL, M. D. A.; REGINSTER, I.; METZGER, M. J. y LEE-MANS, R. (2005): «Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity»; *Agriculture, Ecosystems and Environment* (107); pp. 101-116.
- FREGONI, C. y PEZZUTTO, S. (2000): «Principes et premières approches de l'indice bioclimatique de qualité de Fregoni»; *Progr. Agric. Vitic.* 18; pp. 390-396.
- GARCÍA, J.; MARTÍNEZ-CUTILLAS, A. y ROMERO, P. (2012): «Financial analysis of wine grape production using regulated deficit irrigation and partial-root zone drying strategies»; *Irrig. Sci.* 30(3); pp. 179-188.

- IGLESIAS A. y MEDINA F. (2009): «Consecuencias del cambio climático para la agricultura: ¿un problema de hoy o del futuro?»; *Revista española de Estudios Agrosociales y Pesqueros* (221).
- JACKSON, D. I. y LOMBARD, P. B. (1993): «Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality: a review»; *Am. J. Enol. Vitic.* (4); pp. 409-430.
- JONES, G.; WHITE, M. A.; COOPER, O. R. y STORCHMANN, K. (2005): «Climate change and global wine quality»; *Clim. Change* (73); pp. 319-343.
- JUDIT, G.; GABOR, Z.; ADAM, D.; TAMAS, V. y GYORGY, B. (2011): «Comparison of three soil management methods in the Tokaj wine region»; *Mitt Klosterneuburg* 61(4); pp. 187-195.
- KLIEWER, W. M. (1973): «Berry composition of *Vitis vinifera* cultivars as influenced by photo and nycto-temperatures during maturation»; *J. Am. Soc. Hort. Sci.* (2); pp. 153-159.
- KROODSMA, D. y FIELD, C. (2006): «Carbon sequestration in California agriculture 1980-2000»; *Ecol. Appl.* 16(5); pp. 1975-1985.
- LOBELL, D.; FIELD, C.; CAHILL, K. y BONFILS, C. (2006): «Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties»; *Agric For Meteorol.* 141(2-4); pp. 208-218.
- MALHEIRO, A.; SANTOS, J.; FRAGA, H. y PINTO, J. (2010): «Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe»; *Clim. Res.* 43(3); pp. 163-177.
- MORENO RODRÍGUEZ, J. M. (2005): *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, Secretaría General Técnica.
- RESCO, P.; BARDAJI, I.; IGLESIAS, A. y SOTÉS V. (2014): «Vulnerabilidad del viñedo español al cambio climático»; en Compés, R. y Castillo, J. S., coord.: *La economía del vino en España y el mundo*. Almería, Cajamar Caja Rural; pp. 245-270.
- RESCO, P.; IGLESIAS, A.; BARDAJÍ, I. y SOTÉS, V. (2015): «Exploring adaptation choices for grapevine regions in Spain»; *Regional Environmental Change* 16(4); pp. 979-993. doi: 10.1007/s10113-015-0811-4.

- RIOU, C.; BECKER, N.; SOTÉS RUIZ, V.; GOMEZ-MIGUEL, V.; CARBONNEAU, A.; PANAGIOTOU, M. *et al.* (1994): *Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne*. Luxembourg, Office des Publications Officielles des Communautés Européennes.
- ROSENZWEIG, C.; TUBIELLO, F. N.; GOLDBERG, R.; MILLS, E. y BLOOMFIELD, J. (2002): «Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change»; *Global Environmental Change* (12); pp. 197-202.
- SCHULTZ, H. (2000): «Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects»; *Aust J. Grape Wine Res.* (6); pp. 2-12.
- SOTÉS, V. (2014): «Incertidumbre y vulnerabilidad del viñedo ante el cambio climático: Incidencia de las enfermedades y plagas en el viñedo español»; *Jornada de trabajo PTV*. Madrid.
- SOTÉS RUIZ, V.; GÓMEZ-MIGUEL, V.; ALMOROX, J.; VIDAL RAGOUT, J. y VIDA NAVARRO, L. (2012): «Clima, zonificación; tipicidad del vino en España»; en Tonietto, J.; Sotés Ruiz, V. y Gómez-Miguel, V., eds.: *Clima, zonificación; tipicidad del vino en regiones vitivinícolas Iberoamericanas*. Madrid, CYTED.
- TONIETTO, J. y CARBONNEAU, A. (2004): «A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide»; *Agricultural Forest Meteorology* (124); pp. 81-97.
- WEBB, L.; WHETTON, P. H.; BHEND, J.; DARBYSHIRE, R.; BRIGGS, P. R. y BARLOW, E. W. (2012): «Earlier wine-grape ripening driven by climatic warming and drying and management practices»; *Nature Clim. Change* 2(4); pp. 259-264.

El proyecto LACCAGE

Adaptación del sector vitivinícola francés al cambio climático

Iñaki García de Cortázar-Atauri, Nathalie Ollat y Jean Marc Touzard

INRA - Instituto Nacional de Investigación Agronómica de Francia
(Avión, Burdeos, Montpellier)

Resumen/Abstract

La importancia socioeconómica y las especificidades del sector del vino en Francia hacen que su adaptación al cambio climático sea un tema muy importante para los próximos años. En ese contexto, el proyecto LACCAGE creó entre los años 2011 y 2016 un consorcio de investigación multidisciplinar – con investigadores especialistas en genética, agronomía, climatología, modelización, economía, sociología, etc. de la vid y el vino– que tuvo como objetivo analizar los impactos del cambio climático sobre la vid en cada región vitícola y definir estrategias de adaptación que combinen opciones técnicas, espaciales y estructurales, teniendo en cuenta la percepción de los profesionales y de los consumidores. La diversidad y la calidad de los resultados obtenidos han sido muy importantes y han permitido definir un marco de trabajo para que los profesionales del sector vitivinícola comiencen a desarrollar su propio plan de adaptación en el ámbito nacional y regional.

.....

The socio-economic importance and the specificities of the wine sector in France make its adaptation to climate change a very important issue for the coming years. In this context, the LACCAGE project gathered from 2011 to 2016 a multidisciplinary research consortium (with researchers specialized in genetics, agronomy, climatology, modeling, economics, sociology...) whose objective was to analyze the impacts of climate change on the vine in each wine-growing region and define adaptation strategies that combine technical, spatial and structural options, and taking into account the perception of professionals and consumers. The diversity and quality of the results obtained have been very important and have

allowed defining a framework for wine industry professionals to start developing their own adaptation plan at the national and regional levels.

1. Introducción

En Francia, el sector vitivinícola es de gran importancia económica y cultural. Con un excedente de más de 11.000 millones de euros en 2016, los vinos y licores son el segundo producto más exportado del país, después de la aeronáutica. Concretamente, la viticultura genera más del 15 % de la producción económica agrícola, aunque solo ocupa el 3 % de las tierras cultivadas. Además, este sector genera más de 800.000 empleos directos e indirectos y, teniendo en cuenta sus raíces históricas y culturales, juega un papel clave en la conservación del paisaje y como atracción turística.

Como todos los productos agrícolas, la vid es sensible al clima, que afecta directamente a sus rendimientos y a la composición organoléptica de las uvas (azúcares, ácidos, aromas...). En cada viñedo se seleccionaron desde hace cientos de años las variedades mejor adaptadas a esas condiciones medioambientales. Esa selección de variedades, el clima y el origen geográfico han permitido la diferenciación de los vinos producidos.

Por otro lado, la vid es una planta perenne como los árboles, es decir, que no se siembra o planta cada año, y por esa razón se la considera como un excelente indicador de la evolución del clima. Por ejemplo, en Francia, el análisis de los registros administrativos históricos ha permitido la recuperación de las fechas de declaración de la vendimia (*ban de vendages*) en muchas zonas de producción (la fecha registrada más antigua es del año 1349 en Saze, Gard). Esos datos han contribuido a varios estudios de paleo-climatología y han permitido la reconstrucción de la evolución del clima en Europa occidental desde el siglo XIV (Chuine *et al.*, 2004; Daux *et al.*, 2011; Wolkovich *et al.*, 2016).

Como hemos descrito antes, además del clima, el desarrollo de la producción de vino en Francia está estrechamente relacionado con su distribución territorial. El 47 % de la producción francesa se realiza en zonas clasificadas como denominación de origen (368 AOP –Appellation d’Origine Contrôlée–) y el 28 % como indicación geográfica protegida (74 IGP). Esta estructura de la producción de vino hace que se mantenga una imagen de calidad vinculada al origen, garantizando a los productores unos precios más elevados de los vinos y permitiendo, a su vez, un desarrollo importante del enoturismo. La

combinación de todos estos factores hace que se considere el sector vitivinícola en Francia como muy vulnerable al cambio climático.

Desde el año 2002, varios profesionales y científicos empezaron a movilizarse para estudiar el impacto del cambio climático en los viñedos de Francia (García de Cortázar-Atauri, 2006; Brisson y Levrault, 2011). La mayoría de estos estudios han mostrado una evolución importante de la fenología, la producción y las condiciones climáticas durante la maduración de la uva; la posibilidad de cultivar nuevas variedades en el norte y una degradación de las condiciones hídricas del cultivo en el sur. Por otro lado, algunos estudios alarmistas realizados estos últimos años han pronosticado una reducción del 50 % de la superficie de producción de vinos de calidad en Francia en 2050 (Hanna *et al.*, 2013). Sin embargo, todos estos trabajos han estudiado el impacto futuro del cambio climático sin tener en cuenta las posibilidades de adaptación de su producción (van Leeuwen *et al.*, 2013).

Como hemos descrito antes, en Francia existe una relación muy importante de la producción de vino con el espacio geográfico en el que se desarrolla. Esta situación ha contribuido a la codificación de las prácticas de producción, las cuales son dependientes de las denominaciones de origen. Este es un punto importante que hay que resaltar, ya que tiene importantes consecuencias en la capacidad de innovación y de movilidad geográfica de las zonas de producción. Esas dos dimensiones (innovación y movilidad) son muy importantes para poder adaptarse al cambio climático. Además, la importante diversidad de los viñedos franceses hace que se vean afectados de forma muy diferente por el cambio climático y que tengan capacidades de adaptación variables, con importantes consecuencias económicas en su competitividad.

En conjunto, todos estos parámetros hacen del sector vitivinícola francés un «sistema modelo» para llevar a cabo un enfoque científico multidisciplinar en materia de adaptación al cambio climático de los diferentes sectores de la agricultura.

En el año 2011, el Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas (INRA¹) de Francia comenzó un programa de investigación transversal y pluridisciplinar dedicado a la adaptación de la agricultura y de los bosques al cambio climático (*Metaprogramme ACCAF*²). En ese contexto, se propuso un proyecto que pudiera coordinar el trabajo realizado en los diferentes viñedos por los distintos grupos de investigación del INRA. Ese proyecto permitiría

¹ www.inra.fr.

² <http://www.accaf.inra.fr/>.

estudiar globalmente los impactos y, sobre todo, las estrategias de adaptación del viñedo francés al cambio climático. El objetivo sería responder de manera más efectiva a los problemas y preocupaciones del sector, y crear y estructurar una comunidad científica nacional e internacional que trabajara conjuntamente sobre este tema. En ese contexto se diseñó y desarrolló el proyecto LACCAVE entre los años 2012 y 2016.

2. Objetivos generales del proyecto

Los objetivos del proyecto LACCAVE fueron varios:

- a) Crear una red científica multidisciplinar en la cual participaran todos los laboratorios del INRA y de otros institutos y universidades que trabajaban sobre el tema.
- b) Llevar a cabo una reflexión colectiva con el objetivo de construir una visión común de la problemática (sobre cómo el cambio climático afecta al sector vitivinícola).
- c) Desarrollar nuevos métodos y herramientas que ayudaran a caracterizar los impactos a medio/largo plazo (2050) del cambio climático en el cultivo de la vid y la producción de vino, sobre todo analizando la situación de cada región de producción.
- d) Aportar nuevos conocimientos sobre las innovaciones y las posibles estrategias de adaptación que se podrían poner en práctica para adaptar el sector vitivinícola al cambio climático.

Desde el principio se tuvo claro que la idea general del proyecto no era la de proponer la misma solución técnica a todos los viñedos, sino de entender mejor cuáles eran los posibles efectos del cambio climático localmente, y así explorar cuáles podrían ser las mejores estrategias de adaptación y sus combinaciones a nivel local o regional. En ese sentido era muy importante también tener en cuenta cuáles podrían ser las consecuencias económicas, sociológicas y ambientales de la aplicación de esas estrategias. Para ello se realizaron una serie de estudios específicos y se llevó a cabo un trabajo de prospectiva sobre las estrategias de adaptación identificadas. Por último, durante el proyecto también se realizaron varios encuentros con los responsables socioeconómicos del sector con el objetivo de compartir las informaciones obtenidas y sensibilizar

a los profesionales sobre los impactos y oportunidades del cambio climático en el sector vitivinícola francés.

3. Metodología utilizada y dificultades de aplicación

El proyecto LACCAGE se financió entre 2012 y 2016 con un presupuesto global de 400.000 euros, que se repartieron entre los diferentes laboratorios que participaron en el proyecto. La distribución se realizó en función de las acciones previstas para cada grupo. Ese presupuesto se acompañó de ayudas financieras puntuales para la realización de ciertas acciones como conferencias, experimentos específicos, etc. llevados a cabo en algunos viñedos. En esos casos, se solicitó la participación de los consejos regionales y de las interprofesiones locales. Como hemos mencionado antes, el proyecto LACCAGE permitió constituir una red nacional de animación científica multidisciplinar, y en la cual no faltaron acciones de investigación específicas.

Desde el principio, el objetivo fue crear el grupo de investigación más amplio posible, reuniendo a todos los laboratorios del INRA y de otros organismos de investigación que cubrieran toda la gama de situaciones regionales y disciplinas académicas (24 laboratorios y 96 investigadores). Se creó un comité científico internacional con investigadores de varias disciplinas que también trabajaban sobre estos temas en sus respectivos países. Ese comité se reunió varias veces durante el proyecto para analizar y aconsejar a los coordinadores respecto a las prioridades y acciones que se tenían que realizar. Por otro lado, el proyecto acompañó los trabajos de investigación de ocho estudiantes de doctorado (incluido uno cofinanciado por el Metaprograma ACCAF), que alimentaron la reflexión con sus experiencias y con sus resultados.

El proyecto se estructuró en ocho grupos de trabajo (GT), que se pueden agrupar en dos subgrupos principales:

Por un lado, los GT que tenían una actividad transversal. Así, el GT0 tenía la misión de coordinar y animar el proyecto –gestión administrativa, organización de seminarios, comunicación interna y externa del proyecto y realización de varias publicaciones colectivas–; el GT1 estaba encargado de realizar una síntesis y una puesta en común de todos los trabajos científicos que describían las características de la evolución del clima (pasado y futuro), de los impactos (y oportunidades) esperados y de la percepción del sector respecto al cambio climático vivido y sus consecuencias futuras; finalmente,

el GT7 tuvo como misión trabajar sobre varios escenarios prospectivos de adaptación que se presentaran en los principales viñedos.

Y por otro lado hubo cinco GT en los que se llevaron a cabo investigaciones más específicas, generalmente agrupando disciplinas estrechamente relacionadas. Así, el GT2 estudió las bases genéticas y fisiológicas de la vid para su adaptación (sobre todo cuando se enfrenta a periodos de sequía o de altas temperaturas); el GT3 realizó un análisis de cuáles podrían ser las posibles innovaciones para adaptarse al cambio climático, focalizándose en la diversidad disponible de variedades de vid, la introducción del riego y las prácticas enológicas; el GT4 estudió cómo los productores de una pequeña región vitícola aceptarían (o no) las propuestas de cambios de prácticas agrícolas y las estrategias de adaptación propuestas por los investigadores (se llevaron a cabo varios estudios en Anjou, Burdeos y Languedoc por medio de dos tesis); el GT5 abordó los aspectos económicos de la adaptación, tanto desde el punto de vista de los productores como de los consumidores (una tesis) y, finalmente, el GT6 propuso una serie de métodos para analizar y gestionar las informaciones sobre el funcionamiento y la adaptación del sector (una tesis).

Cada GT desarrolló sus propios métodos de acuerdo con las disciplinas involucradas: modelización, experimentación, observaciones en campo, encuestas agronómicas, económicas o sociológicas, análisis bibliométricos, métodos de investigación-acción o estudios prospectivos. Los intercambios en torno a estos métodos pusieron de manifiesto que era importante definir claramente los escenarios climáticos que se iban a utilizar en el proyecto (su origen e implicaciones), la definición del término *adaptación* y la importancia de una mejor contextualización e integración del conocimiento producido. Para ello se organizaron ocho seminarios internos y transversales, que fueron uno de los principales pilares (aunque no se habían planificado inicialmente) para construir la interdisciplinariedad durante los 4 años del proyecto.

Como hemos mencionado en los objetivos, durante ese periodo se desarrolló una importante actividad de comunicación en torno a la actividad del proyecto para transmitir los resultados obtenidos a los actores profesionales (vía revistas técnicas, conferencias y seminarios) y contribuir al debate público sobre el cambio climático (Feria Agrícola Anual de París, simposio internacional *Climate Smart Agriculture*, UNESCO, COP21, entrevistas en los medios de comunicación, etc.).

La construcción de esta red científica y el desarrollo de todos estos trabajos de investigación se llevaron a cabo de manera muy satisfactoria, y el proyecto

fue clausurado con la organización del congreso internacional *Climwine 2016*, que reunió a 200 investigadores de todo el mundo especializados en este tema.

Aunque la dinámica general del proyecto puede calificarse de excelente, algunas acciones no pudieron llevarse a cabo. Por ejemplo, no se pudo crear una red internacional capaz de preparar un proyecto con las mismas ambiciones, pero a nivel europeo. Tampoco se pudo llegar a establecer una colaboración más operativa con los institutos profesionales. Esos dos objetivos, no concretados en el proyecto, y la realización de una serie de monografías tratando ciertos temas de importancia capital para adaptarse al cambio climático (gestión del riego, erosión del suelo, interacciones de enfermedades con la sequía y las altas temperaturas) son las principales acciones que se van a llevar a cabo en el proyecto LACCAGE 2.21, que se va a desarrollar de 2018 a 2021.

4. Resultados obtenidos

4.1. Creación de una red de investigadores nacional y abierta al medio internacional

Uno de los principales resultados del proyecto LACCAGE fue el de reunir por primera vez a todos los equipos que trabajan en el ámbito nacional francés sobre la vid, el vino y el cambio climático (96 investigadores y estudiantes, 21 laboratorios del INRA, un laboratorio de la Universidad de Borgoña, un laboratorio de la Universidad de Limoges y un laboratorio del CNRS). Esta red permitió dar al proyecto una importante visibilidad de su trabajo a nivel nacional e internacional. Esta comunidad intercambió activamente ideas sobre el tema, tomando en cuenta la dimensión multidisciplinar, e hizo aumentar las colaboraciones preexistentes al proyecto. Todo este trabajo de animación condujo a una visión y un discurso común sobre la problemática del cambio climático que entraba, además, dentro de un marco analítico específico que permitía tener en cuenta: 1) la posibilidad de combinar varias medidas de adaptación a varias escalas y 2) la percepción de estos cambios tanto por los productores como por los consumidores.

En gran medida, este trabajo de concertación se llevó a cabo en varias reuniones anuales de la red (Burdeos, 2012; Montpellier, 2014³ y Angers, 2015). Por otro lado, y desde un punto de vista técnico, se utilizaron todas las herramientas colaborativas disponibles (lista de correo, espacio documen-

³ www.supagro.fr/web/ihev/pages/?id=19&page=1768&id_page=4132.

tación) para facilitar el intercambio de información. En paralelo a estas reuniones generales se organizaron 8 seminarios temáticos (sobre modelización, percepción de la innovación y de las estrategias de adaptación, análisis de prácticas agronómicas a nivel del *terroir*, etc.) que permitieron descubrir y presentar los métodos y herramientas utilizadas por cada uno de los equipos para estudiar cada uno de estos temas.

Finalmente, también se estableció una estrategia colectiva de comunicación científica, técnica y pública con los medios de comunicación (escritos o audiovisuales), de cara a participar en los eventos nacionales e internacionales. El punto culminante de este trabajo fue la realización del citado congreso Climwine2016⁴ que reunió a 200 científicos de 20 países durante una semana para exponer y debatir sobre los impactos y las estrategias de adaptación del viñedo al cambio climático.

4.2. Evaluación y mejora de las simulaciones del clima futuro regional

El proyecto sirvió como marco para explorar y mejorar los conocimientos sobre la variabilidad climática a nivel local, lo cual es fundamental para representar correctamente los impactos del cambio climático a nivel del *terroir*. Para ello, los equipos de climatología trabajaron sobre los escenarios climáticos futuros desarrollados por Météo-France y disponibles en la plataforma de DRIAS⁵. Los datos disponibles en esa plataforma permiten realizar una representación de la evolución del clima de todos viñedos franceses a una escala de 8 x 8 km². Ese nivel de precisión es suficiente para poder realizar un primer diagnóstico espacial de la evolución de las zonas de producción, y puede servir de base para trabajar con las organizaciones profesionales sobre los impactos y las adaptaciones.

Por otro lado, se llevaron a cabo en paralelo dos estudios, uno en el valle del Loira (*Coteaux du Layon*) y el otro en *Saint Emilion*, en los cuales se analizó la variabilidad espacial y temporal de la temperatura a alta resolución (25 m aprox.) (Neethling, 2016). En esos trabajos se mostró que, dentro de una pequeña región vitícola, la variabilidad espacial anual de la temperatura puede ser equivalente a la observada entre dos regiones vitícolas distantes y,

⁴ <https://www6.inra.fr/laccave/ClimWine2016>.

⁵ <http://www.drias-climat.fr/>.

en algunos casos, esta variabilidad puede ser superior al aumento de la temperatura esperado para 2050 (Bonnefoy *et al.*, 2014; Neethling *et al.*, 2017).

Estos resultados han abierto nuevas perspectivas para explorar estrategias de adaptación a nivel local (reorganización cualitativa de parcelas en una misma zona) y han servido de base para la estudiar esta variabilidad en otros viñedos en Europa (proyecto *Adviclim*⁶).

4.3. Síntesis de los impactos del cambio climático en la vid y el vino

Una de las primeras acciones del proyecto fue la de realizar una síntesis de los impactos del cambio climático en la vid y el vino en Francia y en el extranjero. Este trabajo se fue actualizando regularmente, lo que permitió recopilar los resultados de los trabajos de observación, de experimentos o de simulaciones que se habían realizado en el pasado en varios proyectos en Francia (García de Cortázar-Atauri, 2006; Proyecto Climator⁷). Con esos estudios se pudo confirmar el avance significativo de los diferentes estados fenológicos en el pasado y, también, en el futuro (Bois *et al.* 2014, Fraga *et al.*, 2016, García de Cortázar-Atauri *et al.*, 2017), así como el aumento de las situaciones de estrés hídrico en los viñedos de la zona mediterránea (Ojeda y Saurin, 2014; Lebon y García de Cortázar-Atauri, 2015).

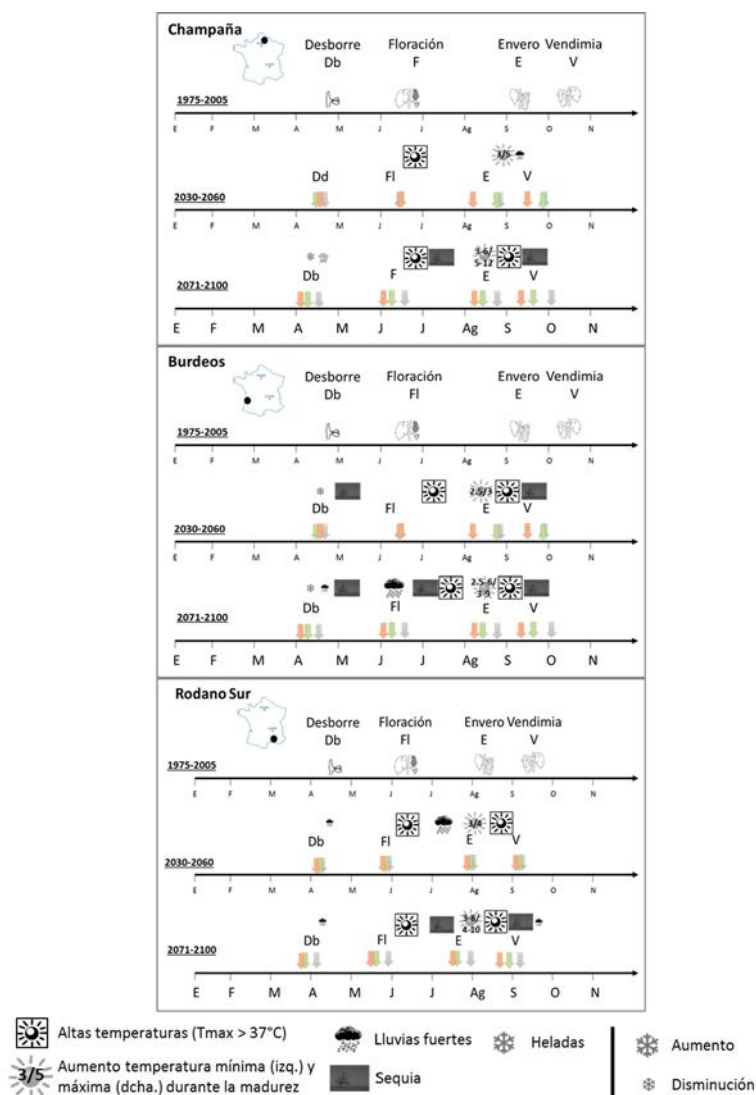
En lo que se refiere a la fenología, se ha observado un adelanto de casi dos semanas de la floración y el envero en los últimos 30 años en varios viñedos (pudiendo llegar a un mes de adelanto de las fechas de vendimia) y que continuará durante los próximos años (hasta casi un mes en los viñedos del norte en 2100, en el escenario RCP8.5) (Figura 1).

La evolución de la composición de la uva (cantidad de azúcar, ácidos, precursores de aroma, antocianos, etc.) y el vino ha sido también objeto de revisiones bibliográficas (van Leeuwen y Destrac-Irvine, 2016), lo que ofrece una ilustración de los efectos del cambio climático en la calidad del producto, en sus mercados y regulaciones (Ollat *et al.*, 2016a). En este sentido, en todos los viñedos se ha producido un aumento del azúcar en la uva que corresponde a, prácticamente, un grado de alcohol cada 10 años, y han perdido entre 0,5 y 1 g/l de acidez al mismo ritmo durante los últimos 30 años.

⁶ <http://www.adviclim.eu/en/>.

⁷ <http://www.inra.fr/en/Scientists-Students/Agroecology/All-the-news/Climator>.

Figura 1. Evolución de la fenología (flechas) en tres periodos de tiempo: pasado (1975-2005), futuro cercano (2030-2060) y futuro lejano (2071-2100)



* En el periodo pasado los estados fenológicos están representados por los iconos de cada uno de ellos (Db, Fl, E, V). En los periodos futuros, las flechas gris medio representan los estados calculados utilizando el escenario climático RCP2.6; las flechas de color gris claro representan el escenario climático RCP4.5; las flechas de color gris oscuro representan el escenario climático RCP8.5. Los cálculos de la fenología en Champagne han sido realizados utilizando la variedad Chardonnay, en Burdeos el Cabernet-Sauvignon y en el Rodano la Syrah. Los símbolos representan la evolución de varios indicadores climáticos. Si el símbolo es grande, eso representa que el indicador (por ejemplo, el número de días con temperaturas altas) aumenta, y si es pequeño, que disminuye. Los símbolos representados muestran solamente los indicadores que van a variar significativamente respecto al periodo pasado.

Por otro lado, también se realizaron los primeros estudios para evaluar las consecuencias de la variabilidad climática sobre la presión biótica. Los primeros resultados obtenidos sobre el impacto futuro del mildiu (*Plasmopara viticola*) en varias regiones vitícolas no mostraron una tendencia clara de la evolución de la presión de esta enfermedad en la producción (Caubel *et al.*, 2014). A fin de mejorar las simulaciones de riesgos fitosanitarios, se ha iniciado una encuesta internacional que debería ayudar a mejorar la comprensión de la incidencia de las enfermedades en el contexto climático en el que se producen (Bois *et al.*, 2017). Todos estos trabajos han sido objeto de publicaciones científicas colectivas (ver número especial de la revista *Oeno-One*⁸), y también para el público en general (Escudier *et al.*, 2016). Estos resultados han servido de base para comenzar a trabajar en las diferentes estrategias de adaptación, las cuales se definen como «el conjunto de acciones que se ponen en práctica para compensar o atenuar los impactos» (Viguié *et al.*, 2014).

4.4. Exploración de la reserva genética de la viña

Durante LACCAGE, y en colaboración con otros proyectos, se realizaron varios trabajos de investigación para estudiar los determinantes genéticos de la respuesta al estrés hídrico (Coupel Ledru, 2015; Rossdeutsch, 2015) y a las altas temperaturas (Rienth *et al.*, 2016). El trabajo sobre la fenología de la viña (cómo observarla, cómo caracterizar su variabilidad genética o cómo simularla) se llevó a cabo con el proyecto ACCAF-PERPHECLIM⁹.

Una de las vías de adaptación mejor identificadas se basa en el estudio de la variabilidad genética de clones de las variedades (viníferas intraespecíficas) (Duchene *et al.*, 2012, 2016) o entre genotipos de portainjertos (Ollat *et al.*, 2015). Entre los resultados obtenidos durante el proyecto cabe resaltar los trabajos de Coupel-Ledru *et al.*, (2014 y 2016), en los que se determinó la importancia de la conductividad hidráulica y de la transpiración nocturna como caracteres genéticamente controlados e implicados en la gestión de las pérdidas de agua en el viñedo. Por otro lado, Rossdeutsch *et al.* (2016 a y b) mostraron que el metabolismo del ácido abscísico y los determinantes moleculares del transporte de agua en la planta tienen características variables según el origen genético de los portainjertos y podrían estar asociados con la adaptación a la sequía. En ese sentido se pudo demostrar que las interacciones

⁸ <https://oeno-one.eu/issue/view/217>.

⁹ <https://www6.inra.fr/projet-accaf-perpheclim>.

portainjerto/injerto juegan un papel decisivo en la respuesta de las plantas al déficit hídrico (Simonneau *et al.*, 2017).

Varios equipos analizaron también el efecto de las altas temperaturas en el crecimiento vegetativo de la viña y en la composición de las uvas durante el periodo de madurez (entre envero y vendimia). Las respuestas fueron variables y complejas en función de los órganos o de los compuestos estudiados y del momento en el que se aplicó el estrés térmico (Torregrosa *et al.*, 2016; Duchêne, 2016). Varios investigadores de LACCAVE participaron en estudios paralelos realizados por otros proyectos, los cuales revelaron importantes interacciones entre los efectos del CO₂, la temperatura y los rayos UVB (Martínez-Luscher *et al.*, 2015). Finalmente, se realizó una evaluación y síntesis de los límites y capacidades actuales de los modelos ecofisiológicos y de cultivo que se han desarrollado hasta ahora, y se propuso una serie de líneas de mejora para el futuro (Vivin *et al.*, 2016).

4.5. Caracterización de las prácticas de adaptación del viñedo

Durante el proyecto se estudiaron las capacidades y límites de varias técnicas enológicas y vitícolas, así como del material vegetal actualmente disponible (injertos y portainjertos), como posibles herramientas para adaptarse al cambio climático. Las más importantes son:

a) Adaptar las prácticas enológicas

Los laboratorios de Montpellier y de Burdeos llevaron a cabo un estudio en el cual se identificaron varias levaduras con bajo rendimiento de alcohol, es decir, que a partir de la misma cantidad de azúcar se produce menos alcohol durante la fermentación. Los primeros resultados obtenidos son muy prometedores, y constituye un tema de investigación con interesantes perspectivas de valoración económica en el futuro (Tilloy *et al.*, 2014, 2015; Dequin *et al.*, 2017). Por otro lado, las técnicas ya conocidas de des-alcoholización y acidificación de los vinos fueron probadas en proyectos con empresas y presentadas y analizadas bajo el prisma de la adaptación de los productos al cambio climático. El potencial aromático del vino y su evolución en un contexto de cambio climático fue identificado como un punto importante que se analizó ampliamente en varios estudios en el proyecto

(Pons *et al.*, 2016). A esos trabajos sobre los procesos enológicos se añadió un primer análisis semántico de los procesos de vinificación que permiten una gestión y optimización más eficaz de los mismos (Muljarto *et al.*, 2017), y varios trabajos de economía experimental que serán descritos más tarde.

b) *Adaptar las prácticas vitícolas*

Probablemente la adaptación de las prácticas agrícolas en las parcelas (desde la plantación, hasta el trabajo cotidiano en el campo) es una de las vías más importantes en las cuales trabajar directamente con los productores. En ese sentido, se realizó un examen de las ventajas y desventajas de una serie de prácticas, incluyendo el riego (Barbeau *et al.*, 2014). Por otro lado, se llevaron a cabo varias investigaciones sobre prácticas muy innovadoras en colaboración con otros proyectos. Este fue, por ejemplo, el caso de probar el uso de agua tratada en depuradora para regar las viñas (Proyecto IrriAlt’eau—economía de utilización de los recursos hídricos), o la evaluación de sistemas en los cuales se realiza el cultivo de la vid en parcelas en las que se instalan paneles fotovoltaicos para producir electricidad (Proyecto Sun’Agri 2B, que evalúa el impacto, positivo o negativo, de la sombra de los paneles solares en la producción y la calidad de la uva). Los resultados de estos proyectos son todavía preliminares y habrá que esperar unos años antes de llegar a conclusiones definitivas. Finalmente, cabe resaltar que, desde el comienzo de este proyecto, se han puesto en marcha varias acciones regionales para probar algunas prácticas directamente en el campo. En ese sentido se ha previsto realizar una serie de estudios monográficos (sobre el riego, la gestión del suelo, la mecanización) que serán puestos a disposición de los profesionales de cada región.

c) *Adaptar el material vegetal*

Una de las vías clásicas evocadas en los trabajos sobre la adaptación de la agricultura al cambio climático es la de utilizar la biodiversidad existente de cada especie. Así pues, durante el proyecto LACCAGE se comenzó a explorar la diversidad del material vegetal existente. Para ello se utilizaron varios dispositivos experimentales: la parcela experimental del proyecto Vitadapt y la colección del Centro de Conservación de Vassal. El dispositivo VitAdapt consiste en una plantación en

la cual están representadas 52 variedades de Francia y de otros países (España, Portugal, Grecia) y en la cual se observan cada año diversas características que describen el comportamiento (el fenotipo) de cada variedad: su fenología, su crecimiento y vigor, así como su evolución hasta la madurez de la uva. Por otro lado, en la colección de Vassal hay más de 2.000 variedades (una de las colecciones más importantes del mundo) utilizadas desde hace más de 50 años y cuyas informaciones permiten caracterizar la variabilidad intraespecífica de la viña.

Estos últimos años se ha puesto en marcha un proyecto similar para estudiar la diversidad de portainjertos (Proyecto Idéogreffe) en colaboración con los profesionales del sector en Burdeos. Estos dispositivos han permitido la obtención de una cantidad considerable de datos de fenología y de características agronómicas y bioquímicas de muchas variedades, que han comenzado a ser analizados para determinar la capacidad de adaptación de distintas variedades al cambio climático. De manera general, se han identificado varias estrategias para utilizar el material vegetal como solución para adaptarse al cambio climático:

La primera posibilidad, y la más accesible, es la de diversificar el número de variedades plantadas en cada viñedo. Para ello hace falta tener un mejor conocimiento de las variedades disponibles y que son potencialmente interesantes en cada viñedo. Actualmente en Francia se pueden plantar 300 variedades, pero solo 20 de entre ellas cubren prácticamente el 80 % del viñedo. Esto implica que se utiliza muy poca diversidad y que hay una tendencia general (no solo en Francia, también en el extranjero) a homogeneizar la producción.

La segunda opción consiste en explorar y estudiar la variabilidad de clones de cada variedad. Actualmente, la mayoría de los clones plantados fueron seleccionados en los años 70 (cuando el clima era bastante más frío y húmedo que ahora). Hoy en día existen varias colecciones de clones que se han empezado a estudiar para buscar aquellos que estén mejor adaptados a las condiciones climáticas presentes y futuras.

La tercera opción consiste en recuperar e identificar variedades que se habían abandonado en el pasado y que podrían tener un potencial interesante de cara a las condiciones climáticas futuras (trabajos de prospección del viñedo).

Finalmente, es posible crear nuevas variedades que tengan en cuenta una serie de criterios que les permitan adaptarse a las condiciones climáticas futuras (más tardías, resistentes a fuertes temperaturas y a la sequía) y, al mismo

tiempo, a los problemas ambientales (resistencia a las enfermedades). Sin embargo, el proceso de creación de una nueva variedad es bastante largo (unos 10 años) y, una vez creada, hace falta que sea aceptada por los productores y los consumidores.

Barbeau *et al.* (2015) realizaron un resumen de los posibles cambios que se podían realizar en las prácticas enológicas y vitícolas, así como el material vegetal, teniendo en cuenta las escalas de espacio y tiempo. La realización de este análisis sirvió como base para razonar las estrategias de adaptación de cada viñedo. En paralelo, también se llevaron a cabo en dos regiones (Valle del Loira y Alsacia), varias encuestas con viticultores para evaluar su percepción del cambio climático y su disposición a introducir nuevas prácticas (Neethling, 2016; Teilen Ollat *et al.*, 2016b). Cabe resaltar a este respecto el trabajo de Neethling (2016), que combinó varios métodos al mismo tiempo: modelos climáticos a escala local, evaluación y cálculo de impactos en el cultivo de la vid, teniendo en cuenta a su vez la percepción de los productores y su capacidad y disponibilidad para aceptar nuevas adaptaciones. Este trabajo, que cubría varios niveles de análisis (climático, agronómico y sociológico), estableció una serie de bases metodológicas para justificar la adaptación de cada viñedo.

4.6. Modelización de la evolución del paisaje y la gestión del terroir

Un punto clave de la adaptación es la coordinación local de las diferentes posibilidades y soluciones de adaptación. Quénot (2015) mostró que era muy importante reconsiderar la reorganización y reubicación de las parcelas de cada viñedo, basándose al mismo tiempo en la variabilidad local del clima (véase el punto 2) y en la gestión de los recursos comunes (el suelo, el agua, el tipo de paisaje, la biodiversidad, etc.). A partir de este análisis se propusieron diversos proyectos en colaboración con varias denominaciones de origen (Quénot *et al.*, 2016). En ese sentido, la utilización de modelos multiagente ha sido una herramienta clave de estos estudios. Ese tipo de modelos permite combinar en una zona predefinida varios niveles de información que representan la distribución espacial del clima y del uso del suelo, a los que se añaden los resultados de modelos que simulan los procesos hidrológicos y agroecológicos del territorio estudiado. Y todos esos niveles de información son modelizados dentro de una estrategia socioeconómica que puede hacer variar las prioridades de los diferentes factores que afectan al funcionamiento del viñedo (Delay *et al.*, 2015).

En las regiones de Banyuls (Pirineos Orientales) (Delay *et al.*, 2015), Valle del Loira (Neethling, 2016) y Roujan (Hérault) (Vinatier, 2015) se llevaron a cabo dos proyectos piloto. Por ejemplo, en el caso del estudio realizado en Banyuls, el modelo multiagente combinó la modelización de la evolución del paisaje del viñedo con la evolución del clima en esa zona, la gestión del territorio de cultivo de la vid y la evolución de la calidad del vino (que depende de la localización de las parcelas), y se trabajó directamente con los enólogos de la cooperativa la definición de las reglas de gestión colectiva (Delay, 2015; Delay y Becu en Ollat *et al.*, 2016b).

4.7. *Análisis económico de las condiciones para adaptarse*

Durante el proyecto LACCAGE se estudiaron, por un lado, las condiciones económicas de los productores para adaptarse al cambio climático y, lo que era más original, cuál podría ser la disposición de los consumidores a comprar vino que hubiera sido afectado por el cambio climático.

Con el objetivo de ir más allá de los análisis clásicos de la dimensión económica de la adaptación al cambio climático (Viguié *et al.*, 2014), se llevó a cabo en Burdeos un trabajo en el que se combinaron, por un lado, las percepciones de los enólogos sobre el cambio climático con la evolución de sus estrategias y, por otro lado, los costes potenciales de la adaptación de las explotaciones vitícolas (Alonso Ugaglia *et al.*, 2016). Los estudios realizados en otras regiones confirmaron que la gestión del riesgo es muy importante pero que, sin embargo, los problemas asociados a esos riesgos son diferentes: por ejemplo, en el Languedoc, el factor que define el riesgo es la sequía, mientras que en la Champaña el riesgo está más ligado a la presión anual de las enfermedades. En ese contexto, las decisiones económicas que se tomen van a depender del valor del vino, de los costes asociados y del rango de opciones en el nivel de calidad en el que se sitúa el productor (Boyer, 2016).

Durante el proyecto también se analizó el comportamiento del consumidor frente a los vinos que pudieran estar afectados por el cambio climático (más alcohol, menos acidez y modificaciones importantes de los aromas y del color). Para ello se utilizaron métodos de economía experimental (Fuentes Espinoza, 2016), que mostraron que el comportamiento del consumidor es una herramienta fundamental para adaptarse al cambio climático. En ese estudio se propuso a un grupo de consumidores varios tipos de vinos: a) el primer grupo de vinos tenía un perfil clásico de una denominación de origen

de Burdeos; b) el segundo grupo, que era de la misma denominación, tenía un perfil cercano al esperado con el cambio climático (vinos con mayor grado alcohólico, aromas de fruta madura, con poca acidez) y c) al tercero se le habían aplicado innovaciones enológicas que podrían servir en el futuro para corregir ciertos defectos como grado alcohólico demasiado alto (desalcoholización) o falta de acidez (acidificación).

Desde el principio se observó que los consumidores apreciaban inicialmente el segundo grupo (con un perfil «cambio climático»), tanto desde un punto de vista sensorial como de valoración en el mercado (el consumidor estaba dispuesto a pagar un precio más alto) (ver Fuentes Espinoza *et al.*, en Ollat *et al.*, 2016b). Sin embargo, este trabajo condujo a una verificación empírica de la inestabilidad de los gustos de los consumidores en función del tiempo de exposición a un producto. Así, aunque los vinos con el perfil «cambio climático» resultaron bien valorados en las primeras degustaciones, el hecho de pedir a los degustadores que los consumieran de forma ininterrumpida durante varios días hizo que esos mismos vinos fueran menos apreciados al final del experimento (problema de saturación) y se depreciaran a favor de los vinos con el perfil más clásico (vinos que fueron menos apreciados al principio del experimento).

Finalmente, este trabajo mostró que los consumidores tenían valoraciones diferenciadas (en parte relacionadas con la edad y el sexo) respecto a la aceptabilidad de ciertos procesos enológicos (desalcoholización y acidificación) que podrían aplicarse para «corregir» los efectos nocivos del calentamiento global en el equilibrio de los vinos. Todos estos resultados muestran claramente la importancia y el impacto que el consumidor puede tener para definir y poner en práctica ciertas estrategias de adaptación.

4.8. Investigación e innovación para adaptarse al cambio climático

Durante el proyecto también se analizó cuál era el verdadero rol de la investigación agronómica en el contexto de la adaptación al cambio climático (Boyer, 2016). Para ello se llevó a cabo una encuesta nacional junto con un estudio bibliométrico de la producción científica sobre la vid y el vino. En ella se mostró que, aunque los trabajos de investigación realizados hasta ahora en esta temática son muy numerosos, no existe un impacto real de todo ese trabajo en la evolución de los viñedos, y eso independientemente de donde se ubican los centros de investigación (ver Boyer y Touzard en Ollat *et al.*, 2016b).

Más adelante se llevó a cabo una encuesta doble en tres zonas vitícolas (Champaña, Burdeos y Languedoc) en la cual participaron un centenar de viticultores y unos 80 investigadores. Este trabajo permitió comprender los vínculos entre la percepción del desafío del cambio climático, las acciones puestas en práctica (de investigación o de adopción de innovaciones) y las redes de asesoramiento establecidas para llevar a cabo las adaptaciones. Uno de los principales resultados de ese análisis fue mostrar que, aunque existe claramente una diversidad de tipos de viticultores en todas las regiones de cara a aplicar las «innovaciones climáticas», su disposición a innovar depende en gran medida de la organización del sistema de innovación regional (Boyer, 2016).

4.9. Construcción de escenarios para adaptar el sector vitivinícola al cambio climático

Durante el proyecto se realizó un ejercicio de prospectiva que ayudara a estudiar las estrategias de adaptación de la viticultura francesa con el horizonte temporal del año 2050 y bajo un contexto de cambio climático. Los trabajos de prospectiva parten de la idea de que el futuro puede ser construido en parte por la voluntad y las acciones de los productores y de su organización. La prospectiva es un ejercicio colectivo que ayuda a «visualizar» los diferentes futuros «posibles» que se han imaginado a partir de una serie de escenarios y de sus respectivas consecuencias.

Este trabajo fue llevado a cabo por un equipo de una docena de investigadores del proyecto (que representaban todas las disciplinas) y con varios especialistas del INAO (Instituto Nacional de las Denominaciones de Origen) y FranceAgriMer (ver Aigrain *et al.*, en Ollat *et al.*, 2016b). Desde el principio se definieron cuatro estrategias principales de adaptación en función de los cambios que se podían producir en el espacio (desplazamientos, reorganización) y en las técnicas vitivinícolas. Esas cuatro estrategias se definieron como sigue:

- a) *Una estrategia «conservadora»*, en la cual se aplicaban cambios moderados dentro de la delimitación espacial actual de los viñedos.
- b) *Una estrategia «innovadora»*, en la cual era posible realizar cambios e innovaciones importantes en los viñedos para mantener sus ubicaciones actuales y el tipo de producto actual.

- c) *Una estrategia «nómada»*, que permite la posibilidad de reubicar los viñedos (cambiarlos de sitio) para mantener la tipicidad actual.
- d) *Una estrategia «liberal»*, en la cual «todo es posible en todas partes».

A partir de diversas fuentes de información (definición de hipótesis por el grupo de trabajo, resultados de otros estudios prospectivos y encuestas en tres zonas vitícolas) se escribieron cuatro historias (escenarios) que representaban las cuatro estrategias de adaptación en el año 2050 (Documento FranceAgri-Mer¹⁰). El resultado de este ejercicio de prospectiva se ha presentado en seis talleres participativos (en Burdeos, Languedoc, Ródano, Borgoña, Alsacia y Champaña) con los profesionales del sector de cada región. En esas jornadas se ha analizado localmente la posible realización (o no) de cada uno de esos escenarios, y ello ha permitido que los profesionales tomaran consciencia de los riesgos asociados a la aparición de algunos de estos escenarios, con el fin de tomar medidas para evitar o favorecer los escenarios imaginados. Finalmente, el resultado de los análisis de la información obtenida en esas regiones permitirá la definición de un marco nacional y regional para proponer acciones específicas de adaptación.

5. Conclusiones

La agricultura es un sector que va a verse afectado de manera significativa por el cambio climático. Entre todas las producciones agrícolas, la viticultura es una de las que más se expone a esos impactos. Eso es debido a que es un cultivo perenne cuya plantación se rentabiliza durante varios años, con un producto, la uva, que tiene un fuerte valor económico, y con un impacto socioeconómico importante en las regiones en las que se produce. Así pues, los impactos esperados pueden desequilibrar de manera importante la estructura y la viabilidad del sector vitivinícola francés.

El proyecto LACCAGE ha sido una iniciativa científica del Instituto Nacional de Investigaciones Agronómicas francés. Este proyecto ha mostrado la importancia de realizar una investigación multidisciplinar y participativa, incluyendo a las organizaciones profesionales regionales (Ollat *et al.*, 2016a). En este sentido, se ha comprobado que los vínculos entre los investigadores y las empresas pueden ser también una herramienta importante de adaptación.

¹⁰ [https://www6.inra.fr/laccage/content/download/3256/32764/version/1/file/N40_A4-Prospective %20Vin %20et %20Vigne.pdf](https://www6.inra.fr/laccage/content/download/3256/32764/version/1/file/N40_A4-Prospective%20Vin%20et%20Vigne.pdf).

Las estrategias de adaptación que se han propuesto dependen, en primer lugar, del nivel de atenuación de cambio climático al que nos tendremos que enfrentar. Las acciones necesarias para adaptar los diferentes viñedos a un aumento de la temperatura de 2 °C pueden ser fácilmente aplicables, ya que habría muchas medidas disponibles, menos inestabilidad y se podría utilizar la variabilidad local. Sin embargo, si las políticas socioeconómicas mundiales sobre las emisiones de gases de efecto invernadero no cambian en los próximos años, el aumento de la temperatura en el futuro será más importante y el margen de maniobra para adaptarse se reducirá drásticamente en muchas regiones.

El proyecto ha mostrado que no hay una solución única y universal para adaptarse a esos cambios. Las propuestas que se podrán poner en práctica serán el fruto de la combinación de varias innovaciones técnicas, asociadas a varias estrategias espaciales y a cambios institucionales. La integración de esas respuestas deberá además tener en cuenta toda la cadena de valor, incluyendo la evolución de las preferencias de los consumidores, que son cruciales en la valoración y comercialización del vino. Como se ha mostrado en este trabajo, las estrategias de adaptación deben ser coordinadas en el ámbito local y regional, ya que los impactos climáticos son específicos y eso permite además optimizar los recursos disponibles. Hemos visto también que quedan muchas dudas sobre la capacidad de algunas prácticas para ser efectivas frente al cambio climático. En ese sentido, la capacidad de colaboración entre los investigadores y los profesionales del sector será un factor fundamental.

Finalmente, este proyecto pionero en Francia ha sido considerado como un modelo y una referencia para estudiar los métodos y las herramientas disponibles para explorar los impactos y, lo que es más importante, las estrategias de adaptación al cambio climático de todo un sector, el vitivinícola en este caso. La construcción de una comunidad científica necesita un trabajo muy importante de coordinación y animación, pero los resultados obtenidos, en calidad y cantidad, confirman su pertinencia. No obstante, al no poder alcanzarse completamente todos los objetivos, hay varios puntos que deberán ser estudiados en el futuro. Hace falta continuar y finalizar el trabajo iniciado en algunos temas (caracterización de impactos) e iniciarlo en otros (gestión del riego, problemas de erosión del suelo, gestión de enfermedades en situaciones de cambio climático, etc.), para ser transferido a los organismos profesionales. En ese sentido, la colaboración con los institutos técnicos y las organizaciones profesionales regionales y nacionales deberá intensificarse en los próximos años. Al mismo tiempo, será necesario estructurar y formalizar una animación

científica europea, que permita comparar y compartir las situaciones de los viñedos en estas regiones y mejorar los intercambios de conocimientos y experiencias. Todos estos objetivos forman parte del proyecto LACCAGE 2.21, cuya duración prevista es de tres años a partir de finales del año 2018.

Referencias bibliográficas

- ALONSO UGAGLIA, A.; GIRAUD-HÉRAUD, E.; PÉRÈS, S. y SURRY, Y. (2016): *Adaptation Strategies of Bordeaux's wine growers to face Climate Change*. France, Bordeaux.
- BARBEAU, C.; BARBEAU, G. y JOANNON, A. (2014): «Analyzing the sensitivity of viticultural practices to weather variability in a climate change perspective: an application to workable-day modelling»; *OENO One* (48); pp. 141.
- BARBEAU, G.; NEETHLING, E.; QUÉNOL, H.; OLLAT, N. y TOUZARD, J. M. (2015): «Adaptation au changement climatique en agronomie viticole»; *Agronomie, Environnement et Sociétés* (5).
- BOIS, B.; JOLY, D.; PIERI, P.; GAUDILLIÈRE, J. P.; GUYON, D. y VAN LEEWEN, C. (2014): «Zonage climatique de l'aire de production des vins de Bordeaux basé sur la température. Incidences sur la phénologie de la vigne»; en Quénol Hervé, coord.: *Changements climatiques et territoires viticoles*. Lavoisier Tec & Doc; pp. 189-214.
- BOIS, B.; ZITO, S. y CALONNEC, A. (2017): «Climate vs grapevine pests and diseases worldwide: the first results of a global survey»; *OENO ONE: Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin= International Journal of Vine and Wine Sciences* (51); pp. 133-139.
- BONNEFOY, C.; MADELIN, M. y QUÉNOL, H. (2014): «Modélisation spatiale des températures dans le vignoble des coteaux du Layon»; *Revue Internationale de Géomatique* (377); pp. 400.
- BOYER, J. (2016): *Rôle de la recherche et de l'innovation dans l'adaptation des vignobles français au changement climatique*. Thèse de doctorat en économie. EDEG Montpellier I. Montpellier SupAgro.
- BRISSEON, N. y LEVRAULT, F. (2010): «Climate change, agriculture and forests in France: simulations of the impacts on the main species»; *The Green Book of the CLIMATOR Project* (2007-2010). ADEME, INRA; pp. 336.

- CAUBEL, J.; LAUNAY, M.; GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I.; RIPOCHE, D.; HUARD, F.; BUIS, S. y BRISSON, N. (2014): «A new integrated approach to assess the impacts of climate change on grapevine fungal diseases: the coupled MILA-STICS model»; *J. Int. Sci. Vigne Vin*, Special Issue on the Laccave Project; pp. 43-52.
- CHUINE, I.; YIOU, P.; VIOVY, N.; SEGUIN, B.; DAUX, V. y LADURIE, E. L. (2004): «Historical phenology: Grape ripening as a past climate indicator»; *Nature* 432; pp. 289-290.
- COOK, B. I. y WOLKOVICH, E. M. (2016): «Climate change decouples drought from early wine grape harvests in France»; *Nature Climate Change*.
- COUPEL-LEDRU, A. (2015): *Déterminisme physiologique et génétique de l'utilisation de l'eau chez la vigne*. Montpellier, SupAgro.
- COUPEL-LEDRU, A.; LEBON, É.; CHRISTOPHE, A.; DOLIGEZ, A.; CABRERA-BOSQUET, L.; PÉCHIER, P.; HAMARD, P.; THIS, P. y SIMONNEAU, T. (2014): «Genetic variation in a grapevine progeny (*Vitis vinifera* L. cvs Grenache $\times$ Syrah) reveals inconsistencies between maintenance of daytime leaf water potential and response of transpiration rate under drought»; *Journal of Experimental Botany* (65); pp. 6205-6218.
- COUPEL-LEDRU, A.; LEBON, E.; CHRISTOPHE, A.; GALLO, A.; GAGO, P.; PANTIN, F.; DOLIGEZ, A. y SIMONNEAU, T. (2016): «Reduced nighttime transpiration is a relevant breeding target for high water-use efficiency in grapevine»; *Proceedings of the National Academy of Sciences* (113); pp. 8963-8968.
- DAUX, V.; GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I.; YIOU, P.; CHUINE, I.; GARNIER, E.; LE ROY LADURIE, E.; MESTRE, O. y TARDAGUILA, J. (2012): «An open-access database of grape harvest dates for climate research: data description and quality assessment»; *Climate of the Past* (8); pp. 1403-1418.
- DELAY, E. (2015): *Réflexions géographiques sur l'usage des systèmes multi agents dans la compréhension des processus d'évolution des territoires viticoles de fortes pentes: le cas de la Côte Vermeille et du Val di Cembra (Limoges)*.
- DEQUIN, S.; ESCUDIER, J. L.; BELY, M.; NOBLE, J.; ALBERTIN, W.; MASNEUF-POMARÈDE, I.; MARULLO, P.; SALMON, J. M. y SABLAYROLLES, J. M. (2017): «How to adapt winemaking practices to modified grape composition under climate change conditions»; *OENO One* (51); pp. 205.

- DUCHÊNE, É. (2016): «How can grapevine genetics contribute to the adaptation to climate change?»; *OENO ONE: Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin= International Journal of Vine and Wine Sciences* (50); pp. 113-124.
- DUCHÊNE, E.; BUTTERLIN, G.; DUMAS, V. y MERDINOGLU, D. (2012): «Towards the adaptation of grapevine varieties to climate change: QTLs and candidate genes for developmental stages»; *Theoretical and Applied Genetics* (124); pp. 623-635.
- ESCUDIER, J. L.; GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I.; GIRAUD-HÉRAUD, E.; LE ROUX, O. N.; QUENOL, H. y TOUZARD, J. M. (2016): «Le vignoble français à l'épreuve du changement climatique»; *La Recherche*; pp. 513-514.
- FRAGA, H.; GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I.; MALHEIRO, A.C. y SANTOS, J. A. (2016): «Modelling climate change impacts on viticultural yield, phenology and stress conditions in Europe»; *Global Change Biology*.
- FUENTES ESPINOZA, A. (2016): *Vin, réchauffement climatique et stratégies des entreprises : comment anticiper la réaction des consommateurs?* Bordeaux.
- GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I. (2006): *Adaptation du modèle STICS à la vigne (Vitis vinifera L.): utilisation dans le cadre d'une étude d'impact du changement climatique à l'échelle de la France*. Montpellier, ENSA.
- GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I.; DUCHÊNE, E.; DESTRAC-IRVINE, A.; BARBEAU, G.; RESSÉGUIER, L. DE, LACOMBE, T.; PARKER, A. K.; SAURIN, N. y LEEUWEN, C. VAN (2017): «Grapevine phenology in France: from past observations to future evolutions in the context of climate change»; *OENO One* (51); pp. 115-126.
- HANNAH, L.; ROEHRDANZ, P. R.; Ikegami, M.; SHEPARD, A. V.; SHAW, M. R.; TABOR, G.; ZHI, L.; MARQUET, P. A. y HIJMANS, R. J. (2013): «Climate change, wine and conservation»; *Proceedings of the National Academy of Sciences* (110); pp. 6907-6912.
- LEBON, E. y GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I. (2014): «Dans un contexte de changement climatique, quels sont les impacts de la sécheresse sur la vigne et sur le devenir des vignobles? L'exemple du Languedoc»; *Innovations Agronomiques* (38); pp. 1-12.
- LEEUWEN VAN, C. y DESTRAC-IRVINE, A. (2016): «Modified grape composition under climate change conditions requires adaptations in the vineyard»; *Climwine, Sustainable Grape and Wine Production in the Context of Climate Change*, pp. 11-13.

- MARTÍNEZ-LÜSCHER, J.; MORALES, F.; SÁNCHEZ-DÍAZ, M.; DELROT, S.; AGUIRREOLEA, J.; GOMÈS, E. y PASCUAL, I. (2015): «Climate change conditions (elevated CO₂ and temperature) and UV-B radiation affect grapevine (*Vitis vinifera* cv. Tempranillo) leaf carbon assimilation, altering fruit ripening rates»; *Plant Science* (236); pp. 168-176.
- MULJARO, A. R.; SALMON, J. M.; CHARNO-MORDIC, B.; BUCHE, P.; TIREAU, A. y NEVEU, P. (2017): «A generic ontological network for Agri-food experiment integration—Application to viticulture and winemaking»; *Computers and Electronics in Agriculture* (140); pp. 433-442.
- NEETHLING, E. (2016): *Adaptation de la viticulture au changement climatique: vers des stratégies à haute résolution. phdthesis*. Université Rennes 2.
- NEETHLING, E.; PETITJEAN, T.; QUÉNOL, H. y BARBEAU, G. (2017): «Assessing local climate vulnerability and winegrowers' adaptive processes in the context of climate change»; *Mitig Adapt Strateg Glob Change* (22); pp. 777-803.
- OJEDA, H. y SAURIN, N. (2014): «L'irrigation de précision de la vigne: méthodes, outils et stratégies pour maximiser la qualité et les rendements de la vendange en économisant de l'eau»; *Innovations Agronomiques* (38); pp. 97-108.
- OLLAT, N.; PECCOUX, A.; PAPURA, D.; ESMENJAUD, D.; MARGUERIT, E.; TANDONNET, J. P.; BORDENAVE, L.; COOKSON, S. J.; BARRIEU, F. y ROSSDEUTSCH, L. (2015): «Rootstocks as a component of adaptation to environment»; *Grapevine in a Changing Environment: A Molecular and Ecophysiological Perspective*; pp. 68-75.
- OLLAT, N.; TOUZARD, J. M. y VAN LEEUWEN, C. (2016a): «Climate change impacts and adaptations: New challenges for the wine industry»; *Journal of Wine Economics* (11); pp. 139-149.
- OLLAT, N.; TOUZARD, J. M.; GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I.; QUÉNOL, H. y VAN LEEUWEN, C. (2016b): *Book of Proceedings of the Clim Wine conference Bordeaux* April 10-13. Ed. Vigne et Vin Internationales.
- OLLAT, N.; VAN LEEUWEN, C.; GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I. y TOUZARD, J. M. (2017): «The challenging issue of climate change for sustainable grape and wine production»; *OENO One* (51); pp. 59.

- PONS, A.; LAVIGNE, V.; DARRIET, P. y DUBOURDIEU, D. (2015): «Glutathione preservation during winemaking with *Vitis vinifera* white varieties: Example of Sauvignon blanc grapes»; *American Journal of Enology and Viticulture*.
- QUÉNOL, H. (2015): *Variabilité spatiale et temporelle du climat aux échelles locales dans un contexte de changement climatique global*.
- QUÉNOL, H.; DE RESSEGUIER, L.; LEROUX, R. y VAN LEEUWEN, C. (2015): «Adaptation de la viticulture au changement climatique. Vers des scénarii à haute résolution. Exemple des vignobles de Saint-Emilion et Pomerol»; *Revue Des Oenologues*; pp. 14-15.
- RIENTH, M.; TORREGROSA, L.; SARAH, G.; ARDISON, M.; BRILLOUET, J. M. y ROMIEU, C. (2016): «Temperature desynchronizes sugar and organic acid metabolism in ripening grapevine fruits and remodels their transcriptome»; *BMC Plant Biology* (16); pp. 164.
- ROSSDEUTSCH, L. (2015): *Contribution du métabolisme de l'ABA et de la conductivité hydraulique à la réponse de la transpiration en situation de contrainte hydrique chez la Vigne: Variabilité génétique et effets du greffage (Bordeaux)*.
- SIMONNEAU, T.; LEBON, E.; COUPEL-LEDRU, A.; MARGUERIT, E.; ROSSDEUTSCH, L. y OLLAT, N. (2017): «Adapting plant material to face water stress in vineyards: which physiological targets for an optimal control of plant water status?»; *OENO One* (51); pp. 167.
- TILLOY, V.; ORTIZ-JULIEN, A. y DEQUIN, S. (2014): «Reduction of ethanol yield and improvement of glycerol formation by adaptive evolution of the wine yeast *Saccharomyces cerevisiae* under hyperosmotic conditions»; *Applied and Environmental Microbiology* (80); pp. 2623-2632.
- TILLOY, V.; CADIÈRE, A.; EHSANI, M. y DEQUIN, S. (2015): «Reducing alcohol levels in wines through rational and evolutionary engineering of *Saccharomyces cerevisiae*»; *International Journal of Food Microbiology* (213); pp. 49-58.
- TORREGROSA, L.; BIGARD, A.; DOLIGEZ, A.; LECOURIEUX, D.; RIENTH, M.; LUCHAIRE, N.; PIERI, P.; CHATBANYONG, R.; SHAHOOD, R.; FARNOS, M. *et al.* (2017): «Developmental, molecular and genetic studies on grapevine response to temperature open breeding strategies for adaptation to warming»; *OENO One* (51); pp. 155.

- VAN LEEUWEN, C.; SCHULTZ, H. R.; GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I.; DUCHÊNE, E.; OLLAT, N.; PIERI, P.; BOIS, B.; GOUTOULY, J. P.; QUÉNOL, H. y TOUZARD, J. M. (2013): «Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050»; *Proceedings of the National Academy of Sciences* (110); pp. E3051–E3052.
- VIGUIÉ, V.; LECOCQ, F. y TOUZARD, J. M. (2014): «Viticulture and adaptation to climate change»; *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin*; pp. 55-60.
- VINATIER, F. (2015): *Simulation de l'évolution des paysages viticoles sous contraintes anthropiques et climatiques: Application à l'introduction de l'irrigation dans le bassin versant de la Peyne*. Francia, La Londe-les-Maures, France.
- VIVIN, P.; LEBON, E.; DAI, Z.; DUCHÊNE, É.; MARGUERIT, É.; GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I.; ZHU, J.; SIMONNEAU, T.; VAN LEEUWEN, C. y DELROT, S. (2017): «Combining ecophysiological models and genetic analysis: a promising way to dissect complex adaptive traits in grapevine»; *Journal International Des Sciences de La Vigne et Du Vin* (51); pp. 181-189.

Impacts of climate change on the wine sector in Italy and mitigation and adaptation strategies

Antonio Seccia and Fabio Gaetano Santeramo

Università degli studi di Foggia

Abstract/Resumen

The expected changes in climate are likely to influence the production of main crops. In Italy, one of the main producers of grapes and wine, the growing of vine is at risk. In particular, the climate changes are likely to influence the diffusion of diseases and pests, the use of water resources, and to influence the quantity and quality of productions. The impacts are heterogeneous across regions and call for specific risk management strategies. This chapter reviews the impacts of climate change in selected Italian regions, and the on-farm and off-farm risk management strategies that may help coping with the risks induced by climate changes. It is emphasized the role of crop insurance, which represents not only a mitigation strategy that helps reducing the negative economic consequences of extreme events, but also an adaptation strategy for complementing or substituting other risk management strategies.

.....

Es probable que los cambios previstos en el clima influyan en la producción de los principales cultivos. En Italia, uno de los principales países productores de uva y vino, el cultivo de la vid está en riesgo. En particular, es probable que los cambios climáticos influyan en la difusión de enfermedades y plagas y el uso de los recursos hídricos, y que influyan en la cantidad y calidad de las producciones. Los impactos son heterogéneos en todas las regiones y requieren estrategias de gestión de riesgos específicas. Este capítulo revisa los impactos del cambio climático en algunas regiones italianas seleccionadas, y las estrategias de gestión dentro y fuera de la finca que pueden ayudar a hacer frente a los riesgos inducidos por el cambio climático. Se enfatiza el papel del seguro de cosechas, que representa no solo una estrategia de mitigación que ayuda a reducir las consecuencias económicas negativas de los

eventos extremos, sino también una estrategia de adaptación para complementar o sustituir otras estrategias de gestión de riesgos.

1. Introduction

Italy is located in the middle of the Mediterranean Sea and its territory is largely mountainous and hilly, with numerous and short rivers. The climate is traditionally characterized by physiological droughts and by seasonal concentrated rainfall. These characteristics, in a context of significant climatic anomalies, may threaten the usability and availability of natural resources such as water and soil and make it difficult the management of anthropic activities.

The IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) forecasts, for Italy, an average increase in temperature up to 0.2 °C per decade, and a decrease in precipitations up to 30 % by the end of the century (IPCC, 2007). According to the CNR-ISAC (National Research Council, Institute of Atmospheric Sciences and Climate) studies, the average annual temperature in Italy has increased by 1.7 °C in the last two centuries, with a significant bump in the last 50 years: 1.4 °C increase in average temperature. The analysis carried out by ISPRA (Institute for Environmental Protection and Research) shows a decrease in the average temperature in Italy from 1961 to 1981 with an increase of 1.0 °C until 2008. Moreover, over the last 50 years, the daytime thermal excursion has increased, with greater increases in maxima compared to minima and significant increases in summer days (i. e. the number of days in which the maximum temperature exceeds 25 °C) and tropical nights (i. e. the number of nights in which the minimum temperature exceeds 20 °C) (Ispira, 2009). During the last century, the overall reduction of rainwater has been 50 mm in the Centre-North and 100 mm in the South. Data on daily precipitation for 1951-2000 show that the decrease in winter rainfall is associated with an increasing frequency of droughts, more persistent during the winter in the North and during the summer in the South. Moreover, there has been a significant increase in rainfall intensity during each single rainy day. These changes affect the hydrological cycle, increase the evapotranspiration and lower the rate of available (surface and underground) water. A relevant example: the flow of the river Po, the main Italian river, decreased by 20-25 % during the last 30 years. With specific reference to water resources, current climate changes call for a rationalization of water use. In recent years, the prolonged droughts, no more affecting exclusively the Southern Italy, are

a recurring phenomenon in Northern regions, traditionally rich in water. The availability of water resources has become a crucial issue in the inner hilly areas of Southern Italy where degradation phenomena and desertification processes are accelerated by the instability of rainfall schemes, and by the increase in temperatures. The repeated and frequent droughts call for improvements in the management of water resources, especially for agricultural uses due to the strong dependency of agriculture from water availability.

The reduced water availability, the increase in temperature, the higher rates of evapotranspiration and the erosion processes are likely to favour a general reduction in soil fertility with serious prejudice for the economic convenience of agricultural activities in some areas where intensive productions take place. Furthermore, the climate change influences the expectation-based process that drives farmers' choices. Besides the modification of some climatic variables in absolute levels (e. g. temperature or rainfall), economic decisions are also affected by the greater variability (and uncertainty) in atmospheric phenomena. The large uncertainty increments the costs of implementing risk coping strategies aimed at protecting their production and business activities (Santeramo *et al.*, 2012). In Italy, the increase in temperatures, causing increases in respiration, reductions in vegetative periods and faster speed of phenological developments, expected for the next decades is likely to reduce the production of main crops. In addition, the increase in temperatures will benefit the development of optimal thermal conditions for cultivation of typically Mediterranean species (e. g. olive, grapes and durum wheat) at higher latitudes and altitudes, and of tropical crops in some Southern areas, with direct consequences on agricultural activities and on the agri-food processing industries.

2. Climate change and viticulture in Italy

The vine is expression of the territory in which it is grown. In Italy grapevine production is present in all regions where, due to historical, environmental and socio-economic reasons, it has followed different evolutionary paths with the consequent creation of several territorial viticultural systems, influenced by the different relationships between soil, microclimate and variety. These relationships, in different contexts, are very sensitive to risks related to climate change. Among the different types of risk there is the yield risk, due to annual climatic fluctuations that may cause changes in quantity and quality of grapes and wine, with effects on production costs, selling prices, and thus

on revenues and profits. Moreover, the global climate changes may induce a migration process of vine cultivation from traditional to non-traditional production areas, with a consequent depletion of territories that are historically characterized by the presence of grapevines. These changes affect landscape, culture, tradition, human skills, investments, etc. To sum up, the effects of climate change are reflected in:

- a) Difficulties in maintaining wine production at an economically sustainable level in many Southern areas (due to changes in temperature and in frequency of droughts).
- b) Difficulties in maintaining typical and high quality productions when varieties more resistant to the changed climatic conditions are introduced.

2.1. Effects on vine-growing areas

The climatic changes are likely to induce significant modifications in the distribution of vine-growing areas in Italy and in the territorial suitability of cultivation of specific varieties. In particular, the possibility of growing, in an economically sustainable way, the vine in areas with hot and arid climate (e. g. Southern Italy) will be at greater risk. The most affected areas are likely to be the territories with complex topography, where vineyards of significant *terroir* are located. In fact, the characters and the aromas of the product are due to unique micro-climatic conditions and the changes that are going to happen may alter these conditions. The effects will be heterogeneous across cultivated varieties and geographical regions. Some areas may become suitable for the cultivation of the vine or, if the crop is already present, for new varieties; differently, some wine-growing regions may be no longer able to ripen typical varieties. These changes threaten the production of higher quality wines. Due to climatic changes, the traditional criteria of exposing vines to south and to west and of setting particular altitude limits should be redefined. In particular, the increase in temperatures is likely to move vine production to altitudes about 250 m higher. The increase in altitude is not without risks: the higher altitudes are more exposed to late frosts, so the slopes exposed to south should be preferred and the valley floor should be avoided due to the potential accumulation of cold air.

2.2. Effects on diseases and pests management

The milder winter conditions and the alteration of the physiological processes of the vine, as a response to the increased concentration of atmospheric CO₂, could affect the cycle and the behaviour of the parasites, thus may alter the epidemic cycles of diseases and phytophagous. Simulations carried out for Northern Italian areas show that the most suitable areas are likely to experience a reduction in expected yields as a consequence of a larger asynchrony between the phenological phases of the vine resistant to the larvae of the European Grapevine Moth (*Lobesia botrana*) and the birth of the insect. On the other hand, the larger pressure of insects, due to the increase in number of generations, may not cause serious damages with an early harvest. The raising in temperature may increase the risk of introducing, or favouring a greater diffusion, of virus-bearing phytophagous species to the Northern areas, such as Mealybugs (*Pseudococcidae*), potential vectors of the leafroll-associated virus (GLRaVs) and of other associated viruses, whose presence is already creating problems in Italian viticultural areas, the *Scaphoideus titanus*, vector of the Flavescence dorée and the *Hyalesthes obsoletus*, vector of the phytoplasma causal agent of the Black Wood of grapevine disease.

Another change worth mention is related to the Powdery Mildew (*Erysiphe necator*): in Emilia Romagna region it started to be observed in the plains besides its usual presence in the hilly areas. Climatic variables play a major role in determining the starting conditions of Grapevine Downy Mildew (*Plasmopara viticola*) infections which, in the last years, have been occurring one month earlier causing an anticipation of the treatments. In Trentino, a Northern region, the defense strategy began the third decade of May in the nineties, during the last ten years the treatments have started in the third decade of April. The phenomenon is not limited to Trentino, while it has been also reported in other Italian wine-growing areas. The annual trend of rainfall is crucial for Grapevine Downy Mildew infections: dry summers help reducing treatments, while rainy summers require continuous surveillance; the adoption of forecast models that calculate risk indexes and measure climatic variables are fundamental.

The increase in temperatures in summer and the prolonged periods with no rain could further stress the vines and favour the appearance of the symptoms of the Esca disease. Moreover, new phytophages have found suitable conditions in Italy: this is the case of leaf miners (*Phyllocnistis vitegenella* and

Antispila Oinophylla) whose spread in Northern Italy is constantly increasing, and of the Glassy-winged Sharpshooter (*Homalodisca coagulata*) (Bugiani and Bariselli, 2012).

2.3. Effects on water-balance

The increase in temperature has moved the evapotranspiration from 50 to 100 mm per year and thus has increased the soil aridity. Furthermore, the increase in temperature has had negative consequences on the Alpine glaciers and on the accumulations of snow in the mountain ranges of the Alps and the Apennines, with negative effects on the summer flows of the rivers and on the water supply. These changes alter the availability of water which is used in viticulture for emergency irrigation. Therefore, it becomes very important to verify the fulfilment of the water needs of the vine, for example with water balance models based on meteorological measures in the field. Simulations show an increase in water demand during the growing season, with variations that may reach 24 % for the period 2071-2100, compared to the current situation (Spano *et al.*, 2012).

2.4. Effects on production

One of the most important effects of climate change is the shortening of the length of the phenological phases. Consequently, the harvest is anticipated, and the winemaking practices need to avoid the production of immature and unbalanced wines. Studies on specific varieties, such as Sangiovese and Cabernet Sauvignon, show that in Italy climate change may shorten the phenological phases and increase the yield variability, exacerbating the economic risks for growers (Bindi and Fibbi, 2000). Beyond the yield variability, the potential productivity of the crop is likely to be reduced by 4.1 % in the next twenty years and by 6.5 % by the middle of the century (Ferrise *et al.*, 2013). The last stages of grapes maturation tend to coincide with particularly hot periods which may cause rapid and excessive accumulation of sugars in the berries, and thus low levels of acidity and colour, high levels of pH, alteration of the aromatic potential and modification of the content and of the type of nitrogen compounds in the must. As a consequence, the wine may result too alcoholic, not much fresh, chromatically inadequate, with unbalanced aromatic components and may be exposed to problems of stability and conservation.

In 2015, many wine-growing areas of Italy have been affected by five problems induced by hot and dry years (Palliotti *et al.*, 2016):

- Advance and shortening of the phenological phases, including the maturation period.
- Acceleration of grape ripening and sugar accumulation.
- Rapid degradation of the acidic structure of musts and significant increases in pH.
- Desynchrony between the increasingly accelerated technology ripeness of the grapes and the more delayed phenolic ripeness.
- Increasing of cases of irreversible dehydration of berries and damage from burns.

Climate change is the main cause of these problems, together with the optimization of cultivation techniques that require the use of certified propagation material and the increase of photosynthetic efficiency of leaves leading to high sugar concentrations and very alcoholic wines. These problems occurred in different areas with different incidence, according to the cultivar/rootstock combinations, the environmental conditions, and the production techniques. In several Italian areas, during summer 2015, the early onset of multiple stresses (i. e. water, thermal and radiation) was particularly penalizing as early as June. In these situations, productivity has been compromised as a consequence of significant reductions in fruit setting and growth, intense phenomena of chronic photoinhibition of the leaves, chlorosis and necrosis.

In Italy, the 2017 harvest has been characterized by a considerable reduction of production (-26 % with respect to 2016). The bizarre climatic trend with a dry and mild winter, an early sprouting of the vine, which has favoured damage from late frosts, but also persistent drought and localized hailstorm episodes, led to lower yields in all Italian regions as well as a considerable anticipation of the harvest.

2.5. Effects on quality productions and socio-cultural aspects

In Italy, as in other EU countries with a renowned wine tradition, PDO and PGI disciplinary bodies regulate crop operations and vinification tech-

niques in order to ensure the quality and to maintain the identity of a product that is expression of a specific territory. Some regulations include specific constraints, such as the harvest time or the absence of irrigation, no longer suitable for new climatic conditions. The climatic changes call for flexibility and forms of adaptation. An indirect effect of climate change is the modification of traditions deeply rooted in the territory and in the cultural heritage. The consequences are heterogeneous across areas, and may be related to the length and timing of the harvest, to the vine growing systems and cultivation techniques, to the loss of native varieties of specific territories and to the disappearing of traditional winemaking techniques.

2.6. Effects on some specific Italian regions

Lombardia

In the area of Franciacorta, well-known for sparkling wines, the data collected in the last ten years by the Consortium for the Protection of Franciacorta, confirm considerable fluctuations in the development of the phenological phases of the vine, with consequences on the planning of crop operations and, in particular, on harvesting. The heterogeneity in microclimates of Franciacorta implies that, from the early ripening areas located in the south up to the later in the north-east area, the harvest start date may vary of ten days or more. In the last twenty years, the harvest start date has shifted from the second week of September to the second decade of August. In a different relevant area of wine production in Lombardy, the Oltrepò Pavese, the production of Pinot Noir for sparkling wine has been anticipated by 12-15 days in the last three decades due to the increase in temperatures (Vercesi, 2010).

Trentino

A simulation of future climate was carried out using the Model HadCM3¹ in order to predict the impact of climate change on the phenological phases of the Chardonnay variety. Apart from a significant advance of the spring phenological phases (i.e. budding), flowering and above all veraison, some mountain areas located at about 1,000 m of altitude are becoming climatically suitable for viticulture (Caffarra and Eccel, 2011). As for sparkling

¹ HadCM3 (abbreviation for Hadley Centre Coupled Model, version 3) is a coupled atmosphere-ocean general circulation model (AOGCM) developed at the Hadley Centre in the United Kingdom.

wine varieties, grapes that are harvested earlier due to the higher temperatures may have low acidity and less development of aromas. While the red berried grapes may have problems due to the development of anthocyanins and, therefore, related to the colour of wines.

Veneto

The CREA-The Research Centre for Viticulture (CREA-VIT), in Conegliano Veneto, by considering a sample of 25 grape varieties representative of the varietal panorama of this region, with data for 46 years (1964-2009) coupled with the corresponding meteorological data, show the general trend of climate and phenological timing of varieties, and the correlations between the two phenomena. The average temperatures in the growing season of the vine increased by 2.3 °C while the annual and seasonal rainfall varied significantly, inducing changes of an indubitable evidence in the plant's phenology. On average, the harvest has been anticipated of 8 days for each degree of average temperature increase. The vine responds promptly even to small environmental thermal variations, annual or medium-long period, so it is reliable the use of the phenological data as an indicator (proxy) of climate changes in progress. Such proxy confirmed the changes in climate and the consequent changes in the dates and length of the phenological phases (Tomasi *et al.*, 2011).

Toscana

Estimates of the impacts of climate change in Toscana, based on models that integrate time series with forecasts for the period 1975-2100, show that: a) the growth cycle of the vine is shorter, b) the amount of productions, particularly for higher quality, is reduced c) the wine quality is progressively lower (Trombi *et al.*, 2010). As for the variety Sangiovese, used for the production of the PDO Nobile di Montepulciano, the analysis of weather trends since 1970 shows how climate change impacts on the development of the vine, anticipating all phenological phases (Dalla Marta *et al.*, 2010). Due to the climate change, grapevine cultivation will be exposed to two major risks (Moriando *et al.*, 2011): revenues reduction, induced by lower yields, and a decrease in quality induced by higher temperatures during the growing season. Currently, the areas of higher quality production are located between 0 and 600 m of altitude but it is expected that by 2040 the altitude limit for

the cultivation of the vine will move up to 800 m, with the most valuable areas between 400 and 600 m. The production of premium quality wines will be restricted to higher hilly areas.

Abruzzo

A study which considered the dates of harvesting beginning in Abruzzo region, on data between 1971 and 2009, identified a climatic discontinuity in 1984 for the central coastal hill area, in 1997 for the Southern coastal hill area, and in the 1998 for the internal area of the province of Pescara. These years represent watersheds for the three areas of the region compared to the current climatic phase which is characterized by the anticipation of the harvest of 10, 14 and 15 days, respectively for the areas mentioned. For the Montepulciano variety, typical of this region the anticipation of the harvesting period was estimated in 14-15 days in the central area of the region and the coast, while it is about 10 days in the Southern part of the coast (Di Lena *et al.*, 2010).

Southern regions

In Campania region, the climatological analysis of an area characterized by PDO production of 20 thousand hectares (Valle Telesina) showed a tendency to expand the area suitable for the production of some varieties, such as Guarnaccia and Forastiera and the strong reduction of the area optimal for the cultivation of other typical varieties such as Aglianico and Falanghina (Bonfante *et al.*, 2010).

Studies conducted in Puglia region have shown that the increase in temperature recorded in the last fifty years (almost 1 °C) has anticipated by at least one week the stages of flowering and veraison, resulting in a rapid accumulation of sugars and modification of acidity.

In Sicily, as well as in all Southern regions, the bizarre climate trends have marked the spring-summer season, and made more and more frequent weather anomalies. In 2017 it was necessary to anticipate the harvest on 22 July, making an exception to the *Testo unico del vino* law, which requires that some varieties are harvested on August 1 or later. Due to the changes in climate, it is likely that the harvest season in Sicily will have to be anticipated: the current date of August 1 seems not in line with the needs of growers and winemakers.

3. Strategies of mitigation and adaptation

The main approaches to reduce the risks due to climate change refer to two set of strategies: mitigation and adaptation. In the first case, the goal is to reduce gas emissions that increase the natural greenhouse effect and it is pursued through policies aiming at restricting emissions (permits and quotas), at defining property rights for controlling pollution and at taxing emissions. However, air pollution due to the anthropic activities and the complexity of the climate system make very difficult to eliminate the risk and damages of climate change. Moreover, since the response in terms of mitigation at a global level is not particularly incisive, it is not plausible to expect an inversion of the trend with respect to the expected climate changes. Therefore, mitigation actions cannot be the only response, and a modified climate will have to be accepted in the future.

The adaptation strategies become necessary as complementary to the mitigation approach, through actions aiming at minimizing the negative consequences and damages caused by possible climate changes. These strategies will allow to exploit the positive effects deriving from climate change. The adaptation measures may be included within national or regional policies, but can also be specific interventions at the level of the communities or of individuals. In order for adaptation measures to be taken at the right time and to be effective and consistent for the various sectors concerned, a more strategic and cooperative approach between different institutions (at national and international level) is necessary.

In Italy, although not being part of a national planning strategy specific for vinegrowing, adaptation approaches to climate change are part of the current European and national policies with the aim to assess climate change impacts and to identify adaptation actions for several socio-economic and natural sectors (see paragraphs 4 and 5). The responses to face the risks associated with the climate change, at the level of a single wine company, are conditioned by the intensity of the entrepreneurs' perception of the risks. A study carried out in Italy shows that the level of perception and the responses with mitigation or adaptation strategies depend, to a large extent, on the individual beliefs on climate change and on personal experiences regarding production damages in the past (Menapace *et al.*, 2014).

A survey conducted in the Emilia Romagna region with producers of the Sangiovese variety had the objective of assessing the degree of perception

of climate change and the adaptability of wineries (Malorgio and Merloni, 2017). A questionnaire was used to analyze the perception of producers, the practices and adaptation strategies adopted and the consequences of climate change. Regarding the first issue, the survey showed that most of the interviewed winemakers have a fairly clear perception of the evidence associated with climate change. In particular, producers declared that: a) the environmental factors that influence the production of grapes are temperature and rainfall; b) the effect is much more incisive in the vineyard and less incisive on the winery where it is possible to intervene on the winemaking process; c) climate change has a big influence on the choices of adaptation practices in the short-term.

In addition to short-term practices, winemakers predict that climate change will have an impact on wine production in the long term. The study shows that about 80 % of the interviewees foresee the necessity to change the production techniques in the future. As for the adaptation practices, the survey showed that the producers adopt adaptation practices necessary to maximize the production, on the basis of the timing and the availability of technical, organizational and financial resources. In particular, the adaptation practices implemented by producers concerned the modification of: phytosanitary treatments, soil management, irrigation techniques, date of harvesting and pruning methods. Some of the main problems that emerged are due to high costs of adaptation, scarcity of water, difficulty in finding skilled labour and constraints defined by the production regulations.

In general, for Italy the climate change is expected to lead to the following scenarios:

- a) Vine areas traditionally considered marginal because of the lack of thermal availability are becoming more suitable to carry out the ripening of the grapes of the early varieties and begin to be able to host less early varieties.
- b) Vine areas with a high viticultural suitability currently can present thermometric availability in excess of the needs of the traditionally cultivated varieties. It is therefore possible to envisage the need to modify ampelographic platforms and to intervene to limit damages from summer stress.

3.1. Areas and exposures

The new climatic conditions pose new problems but also provide new opportunities that may arise as a consequence of the complex orography of the Italian territory that often presents wide variations in altitude even within areas that are not very large. Therefore, in the mountain and pede-mountains areas, entrepreneurs are considering new choices for the exposure of the land and its altitude. Compared to the traditional exhibition aimed at ensuring the thermal requirements of a variety and allowing the full maturation of the grapes, today it may be appropriate to choose exposures that lead to less interception of solar radiation and/or to place the vineyards at slightly higher altitudes. The possibility that grapes can be grown at higher altitudes is already taking shape in some mountainous areas of Italy and, in the future, it is expected that the new climatic conditions will allow a greater diffusion of the cultivation along the range of Alps that stretches across some important grape-wine producing regions of Northern Italy.

The suitability of new areas for viticulture (e. g. in the Alps) is currently studied by researchers of the Laimburg Experimental Center in the Alto Adige region, in collaboration with other Italian and Austrian partners, as part of the project «Rebecka-Assessment model for grape varieties and vineyard areas» financed by the European Union (2014-2020 Interreg VA Italy-Austria). The goal of the project is to develop an algorithm that suggests to the grape-growers whether a given mountain territory is suitable to host a vineyard and the varieties that best fit the area and, moreover, to develop a model available to the public and ongoing updated.

3.2 Choice of varieties, clones and rootstocks

A medium-long term strategy for adaptation actions in Italy will necessarily require an update of the ampelographic platform, in particular for varieties, clones and rootstocks resistant to abiotic stresses, water scarcity and thermal and radiative excesses. The wide range of varieties available in Italy could allow the identification of new combinations between genotype and environment that could lead to excellent quality results. At the same time, it will be necessary to broaden the knowledge, especially for the autochthonous varieties, related to the adaptation mechanisms to variable conditions of radiation, temperature, steam pressure deficit and water availability. The

issue of the distribution of the varieties in the Italian territory is, therefore, connected not only to the need to satisfy the thermal requirements, but also to the necessity of rationalizing the use of natural resources. Therefore, the study of the aptitude of varieties to adapt to multiple summer stresses and the identification of resistant genotypes to be used in environments characterized by high thermal and radiative regimes and by scarce water availability, is particularly important.

Studies conducted in recent years have shown that the mechanisms that allow to different varieties to adapt to summer stress are mediated by stomatological sensitivity and are based on genetic basis. Comparative researches have highlighted that some varieties including Sangiovese, Grechetto, Grenache and Moscatel, are considered better adapted to drought (elusive genotypes) than others such as Montepulciano, Pignoletto, Syrah, as they are able to express high values of stomatal conductance and efficiency of water use regardless of leaf water potential (Palliotti *et al.*, 2008).

The choice of clones with larger clusters, with big berry and/or with a lower peel/pulp ratio, would allow to limit the sugar accumulation without overly penalizing the concentration of anthocyanins and polyphenols and could produce wines with a territorial imprint but with a moderate alcohol content.

Genetic improvement plays a fundamental role in the availability of rootstocks adapted to the changed climatic conditions. An example is the outcome obtained by the University of Milano, through the project «Ager-Serres: Selection of new grape rootstocks resistant to abiotic stresses through the development and validation of physiological and molecular markers». It has led to the selection of new rootstocks with specific characteristics of resistance to drought and of efficiency in relation to water stress, soil and water salinity, chlorinating soils and nutritional deficiencies. The new rootstocks, called «M series» (M1, M2, M3, M4) ensure a high percentage of roots even at 60-100 cm depth, in loose soils, deep but dry in summer, as well as in clayey soils, asphyxiated in spring and dry in summer. The «M series» was registered in the Italian National Register in 2014 thanks to the contribution of a group of wineries that established a company with the aim of supporting research and promoting their development for the multiplication and commercialization by the nurseries. Since 2016, the first rooted grafts on the «M series» rootstocks are available to grapegrowers with a range of over 700 different varieties/rootstock combinations.

3.3. Training system

Training system has a relevant effect on the microclimate of the plant and therefore on the aromatic chemical composition of the wine. Such correlation has been studied in Veneto region in the Soave wine-growing area, where the researchers of the CREA - The Research Centre for Viticulture (CREA-VIT) compared two training systems, Pergola and Guyot, considering hill and plain vineyards for the Garganega variety, conducting a trial from 2003 to 2011. During the study the air and the berry temperatures have been monitored, chemical-physical analysis carried out and organoleptic evaluation on wines conducted. Results show that the Pergola training system can guarantee a greater degree of coverage and shading with a reduction in the effect of thermal and radiative stress, less accumulation of sugars and an increase in the aromatic content of the grapes (Tomasi *et al.*, 2015).

3.4. Precision farming

The complex planning of vineyard management, accentuated by the alterations that climate changes are causing on growth environments and plant physiology, has led technological innovations to develop tools able to provide the grape growers with the means to control and monitor many aspects of the vine growing environment. The management approach of precision viticulture is based on the real needs of each vineyard or portion of it, considering the heterogeneity of the viticultural systems, that are observable in the physiological expression of the plant.

In Italy, viticulture is the agricultural sector with the most extensive application of experience in precision farming technologies. These include design and installation of vineyards, localized applications for fertilization and spraying, zonal canopy management, specific techniques to reduce evapotranspiration, emergency irrigation, and differentiated harvest by reason of the degree of uniformity of the berries ripening.

On the basis of past experiences in precision farming, in 2017 the Italian Ministry of Agricultural, Food and Forestry Policies (MIPAAF) has financed the three-years project «Sustainable Biotechnologies and Digital Agriculture», that will be implemented by the CREA research centres located in Italy, and in particular by the Research Centre for Viticulture (CREA-VIT) in Conegliano Veneto with the collaboration of other research institutes specialized

in vines. Specifically, one of the objectives is to develop precision viticulture management through digital technologies and services as clouding and big data, integrated with advanced systems of sensors and mechatronics. The integrated use of the modelling application to the phenological and agrometeorological data collected by public and private bodies, shared through clouding, will allow a more effective management of issues related to sustainability and climate change. The adoption of sensors for remote and proximity use, as well as remote sensing by airplanes or drones, is already used in Italy by some wineries for vineyard management and for the acquisition of digital images containing information related to the characteristics of the plant. These technologies provide to entrepreneurs suitable tools to adapt vineyard management to changes caused by the climate change.

Recently, experiments have been carried out to verify the effectiveness of these techniques not only on training systems with vertical vegetation walls, where they are traditionally used, but also on systems with a horizontal vegetative roof. The results of a survey conducted in the Abruzzo region on vineyards of the Montepulciano variety have shown that these techniques are also applicable for the Tendone, a horizontal vegetative roof system, leading to implement maps that highlight areas with plants of different strength and different production capacity, so to achieve effective corrective interventions (Palliotti *et al.*, 2016).

3.5. Canopy management

Some experiments conducted in Italy have shown that, besides the manual or mechanical early leaf removal, in order to slow down the sugar accumulation of the grapes, the late application of a natural antiperspirant product is capable of inducing a calibrated photosynthetic stress. This product, based on pinolene obtained from the distillation of coniferous resins, is applied mechanically and evaporates within a few hours leaving on the leaves a thin transparent film that partially limits the gaseous exchanges for a period of about 30-50 days. After the degradation of the product, the leaf totally recovers its functionality. Experiments conducted on Sangiovese, Tocai rosso, Trebbiano toscano and Grechetto varieties demonstrate that the product is particularly effective if the main objective is to reduce and/or slow down the accumulation of sugars in the must with the aim of reducing the alcohol content of wines (Palliotti *et al.*, 2008).

The persistence of summer days with temperatures above 40-42 °C, such as to put at risk the survival of the vines, has stimulated the experimentation of the use of white clays with sunscreen function. In fact, once they have been sprayed on the leaves, they are able to reflect the solar radiation reducing the temperature of the tissues. The experimentation was carried out in Umbria region on different varieties using kaolin sprayed on the walls of the rows exposed to west as more sensitive to heat stress. The results showed that in critical years it is an effective technique, quick and simple to be applied, as well as economic since it is sufficient to spray only half of each row (50 % of the vineyard) (Palliotti *et al.*, 2017).

3.6. Irrigation management

The interactive effects of rainfall reduction and intensified evaporative demand, caused by increased solar radiation and air temperature, reduce grape production and induce unbalanced musts with higher pH and sugar concentration, resulting in wines with high alcohol content and poor in acidity and varietal aromas. As a consequence, it is necessary to use emergency irrigation with a drip system that allows to manage modest and not excessive amounts of water in order to leave room for possible rainfall. Some grapegrowers are considering the transition from the concept of the exclusively emergency irrigation to the physiological irrigation, based on micro-irrigation, a method that has the following advantages: high irrigation efficiency, reduced surface evaporation, limited development of weeds, labour saving and automation possibilities.

Considering that water is an efficient means of modifying the microclimate, since the transition from the liquid to the vapour phase absorbs energy in the form of heat, causing a cooling of the surrounding environment, some researchers have conducted an experiment using overhead nebulized irrigation system. It was carried out in a vineyard of Sauvignon Blanc of a large winery located in Umbria region and the results have shown that with temperatures above 30 °C associated with relative humidity of less than 70 %, nebulization can represent an effective technique to limit the damages caused by thermal excesses both on the leaves and on the ripening of the grapes and, therefore, on the quality of the wine. Of course, since it is necessary to take into account also the consumption of water, the use of this technique should

be considered according to the meteorological and cultivation conditions of the vineyard area (Paciello *et al.*, 2017).

3.7. Predictive models

The deepening of the knowledge on the phenology of the vine and its relations with the meso and microclimatic variables, associated with the strengthening of the meteorological survey network in several Italian areas, has allowed the creation of predictive models that allow to plan the plant defense and the crop operations. These models are based on the collection of highly detailed meteorological information with reference to the pedoclimatic characteristics of the reference territory and can represent an effective support for business decisions in relation to climate change. An example is the predictive agro-meteorological model of Chardonnay in the area of Franciacorta, in Lombardia region, developed by the SMACH project, led by the Consortium for the protection of Franciacorta with the contribution of the University of Milano and the Province of Brescia. The project aimed to develop an agro-phenological model able to describe and outline the progress of the annual cycle of the vine in relation to the meteorological course. The model has given significant results, opening new scenarios on the possibility of predicting the course of the vegetative cycle phases of the vine with the most probable grape ripening date and its qualitative potential.

A specific forecasting model for the control of *Plasmopara viticola*, causal agent of Grapevine Downy Mildew, has been developed by the collaboration between the Phytosanitary Services of the Emilia-Romagna and Piemonte regions, and the Universities of Piacenza and Bologna, in consideration of the anticipated risk perception of primary infections of this parasite especially in Northern Italy. The model DOWGRAPRI (DOWny mildew GRApevine PRimary Infections) uses meteorological and phenological data as well as those related to the latency period of oospores to simulate the infectious processes.

3.8. On the off-farm risk management strategies: the case of crop insurance contracts

In order to mitigate the economic effects of adverse climatic conditions, as well as to reduce the impacts of extreme weather events, farmers may adopt several on-farm and off-farm risk management strategies (Seccia *et al.*, 2016),

such as crop insurance contracts. The use of crop insurance contracts represents not only a mitigation strategy (i. e. a strategy that may help reducing the negative economic consequences of extreme events) but also an adaptation strategy for complementing or substituting other risk management strategies (Capitanio *et al.*, 2014).

For the wine industry the crop insurance system is regulated by the Common Market Organization (CMO) on wine (Reg. EC 479/2008), established in 2009 and reformed by the EU Reg.1308/2013. The EU Reg. 479/2008 promoted policy interventions for the wine sector such as trade promotion, vineyards reconversion, green harvest, while the EU Reg. 73/2009 allowed to subsidize risk management interventions, as established by the article 68 of the EU Reg. 73/2009 and by the CMO for wine (EU Reg. 1234/2007). The reform of the CMO in 2008 established subsidies to promote crop insurance for grapevine growers. In Italy the measure accounts for (at least) 20 millions of euro for the 2014-2020 period. Starting from 2010, the public contribution has been 80 % of the crop insurance premium, lowered to 65 % in 2014 and increased to 70 % in 2018, under the Omnibus Regulation.

In Italy, the grapevine is the main crop in the agriculture insurance market, with an insured value that accounts for 1.5 billions of euro in 2015 (27 % of the total insured value for all crops). The market of crop insurance for grapevines cover 169,000 hectares (in 2015), accounting for the 27 % of global insured land and for the 30 % of the gross production value. In 2015, 29,693 farms specialized in grape production have been insured, accounting for 95 million of euro in terms of total premia, with an average tariff of 6.3 %: the average insured value, per farm, has been 50,000 euro. The regions with the highest insured values are located in the North (Veneto and Toscana show an insured land respectively equal to 53 % and 34 %).

The most common contracts are the pluri-risks contracts (up to 3 perils) which account for more than 75 % of the market, whereas a minor share of contracts pertain the multirisk contract. The indemnities paid in 2016 for losses occurred in grapevine farms accounted for 45 million of euro, out of 1.39 billion of insured value. The most frequently indemnified events have been the losses due to freeze (3.6 %), especially in Abruzzo, Campania and Veneto regions, the losses due to excess of high temperatures (8.7 %) in Puglia region and the losses due to thermal fluctuations (3.9 %) in Lazio, Marche, Umbria and Sardegna regions².

² <http://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/10230>.

To the extent that changes in climate are more and more prominent and that extreme events are more and more frequent, the adoption of crop insurance contracts are likely to become one of the main strategies not only to mitigate the effects, but also to adapt to the new climatic scenarios.

4. National Plan for Adaptation to Climate Change (PNACC)

In 2013 the European Union formally adopted the Adaptation Strategy for Climate Change, which defines the principles, guidelines and objectives of the EU policy on adaptation to climate change, with the aim of promoting coordinated and coherent national visions between national plans. The assessment of climate change impacts, the evaluation of vulnerability and adaptation have therefore become priority tasks for all Member States.

In 2014, the Italian Ministry for Environment, Land and Sea published the National Strategy for Adaptation to Climate Change (SNAC)³, a document in which the main impacts of climate change were identified for a number of socio-economic and natural sectors and adaptation actions were proposed to these impacts. Subsequently, in 2015 the SNAC was approved and in 2016 the development of the National Plan for Adaptation to Climate Change (PNACC) was started⁴.

The PNACC is the result of a process of multi-sector involvement and interactions among organizations, territories, policy makers, experts and researchers, with the aim of identifying a set of related and synergistic activities for adaptation to climate change. The PNACC aims to boost the implementation of the SNAC with the general objective of offering a tool to support national, regional and local institutions for the identification and selection of the most effective actions in the various climatic areas in relation to the critical issues that characterize them mostly and for the integration of adaptation criteria in the already existing procedures and instruments. The general objective is divided into four specific objectives: limiting the vulnerability of natural, social and economic systems to the impacts of climate change; increasing their ability to adapt; improving the exploitation of possible opportunities and facilitating the coordination of actions at different levels.

³ <http://www.minambiente.it/notizie/strategia-nazionale-di-adattamento-ai-cambiamenti-climatici-0>.

⁴ <http://www.minambiente.it/pagina/consultazione-su-piano-nazionale-adattamento-cambiamenti-climatici>.

The PNACC is structured in three parts:

1. Context analysis, climate scenarios and climate vulnerability;
2. Adaptation actions;
3. Tools for participation, monitoring and evaluation.

The second part of the Plan is dedicated to the analysis of adaptation actions for each sector and associated with the main impacts of climate change and related homogeneous climatic areas. One of the sectors is «Agriculture and Food Production» in which, due to the strictly territorial and specific nature of adaptation, the preference scale of the actions can not be established in an absolute way, but varies according to the socio-economic and geographical context and in relation to the various risks and climatic scenarios considered.

In the context of the national agricultural policy, the Italian Ministry of Agricultural, Food and Forestry Policies (MIPAAF) coordinates the planning activities on the basis of the Community Agricultural Policy (CAP) with the adoption of the National Rural Development Program (PSRN)⁵, approved in 2015, while the Regions are called to adopt their own regional agricultural plans. Within the new CAP, development plans - national and regional - must take into account risk management as one of the planning guidelines.

5. National Rural Network and Rural Development Program for 2014-2020: Two years Action Plan 2017-18

In Italy, as in each EU Member State, the National Rural Network operates to support and enhance rural development objectives in application of the provisions of art. 54, paragraph 3, of the Regulation (EU) 1305/2013⁶. In the Action Plan for the years 2017-2018⁷ a specific theme is dedicated to climate change: Theme 14 - Climate Change. It considers transversal actions on the theme of climate change implemented in continuity with the activities already carried out in the first two years of programming and is related to two main strands. A first strand concerns a series of interventions related to mitigation and adaptation policies with the aim of improving their planning

⁵ <https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/EN/IDPagina/1682>.

⁶ https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex_3A32013R1305.

⁷ <https://www.reterurale.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/16541>.

capacity and more effectively orienting the planning of rural development interventions in this area. The second strand consists in information and dissemination activities on the topic of climate change. With regard to companies, the activity will be aimed at increasing the degree of knowledge and dissemination of mitigation practices in relation to the various agricultural and zootechnical activities.

Moreover, the Action Plan includes the project «Evolution of the national agro-meteorological system to support the National Rural Network (AGROMETEORE)» which is focused on the application of agrometeorology to precision agriculture, that assumes an increasingly important role in a context of climate change and limited availability of resources. In particular, one action is the strengthening and operational management of the phenological development analysis and forecasting system, with the preparation of nationwide phenological maps, and the possibility of regional detail, on the basis of specific mathematical models whose outputs are corrected thanks to surveys carried out directly in the field. The species taken into consideration are grapevine, olive and robinia. The information produced will be useful as a tool to support decisions for better planning of field interventions in correspondence with the most favorable phenological phases.

References

- BINDI, M. and FIBBI, L. (2000): «Modelling climate change impacts at the site scale on grapevine»; in Downing, T. E.; Harrison, P. A.; Butterfield, R. E. and Lonsdale, K. G., eds.: *Climate Change, Climate Variability and Agriculture in Europe. Research Report* (21). UK, Environmental Change Unit, University of Oxford; pp. 117-134.
- BONFANTE, A. *et al.* (2010): *The adaptative capacity of a viticultural area (Valle Telesina, Southern Italy) to climate changes*. VIII International Terroir Con.
- BUGIANI, R. and BARISELLI, M. (2012): «Il global warming e l'effetto sulle avversità delle piante da frutto»; *Rivista di frutticoltura e di ortofloricoltura* 74(3); pp. 10-19.
- CAFFARRA, A. and ECCEL, E. (2011): «Projecting the impacts of climate change on the phenology of grapevine in a mountain area»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* 17(1); pp. 52-61.

- CAPITANIO, F.; ADINOLFI, F. and SANTERAMO, F. G. (2014): «Crop insurance subsidies and environmental externalities: Evidence from southern Italy»; *Outlook on Agriculture* 43(4); pp. 253-258.
- DALLA MARTA, A. *et al.* (2010): «Analysis of the relationship between climate variability and grapevine phenology in the Nobile di Montepulciano wine production area»; *The Journal of Agricultural Science* (148); pp 657-666.
- DI LENA *et al.* (2010): *Effetti del cambiamento climatico europeo sulle vendemmie in Abruzzo*. VIII International Terroir Con.
- FERRISE, R.; MORIONDO, M.; TROMBI, G.; MIGLIETTA, F. and BINDI, M. (2013): «Climate change impacts on typical Mediterranean crops and evaluation of adaptation strategies to cope with»; in Navarra, A. and Tubiana, L., eds.: *Regional Assessment of Climate Change in the Mediterranean*. The Netherlands, Dordrecht.
- IPCC (2007): «Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change»; in SOLOMON, S.; QIN, D.; MANNING, M.; CHEN, Z.; MARQUIS, M.; AVERYT, K. B.; TIGNOR, M. and MILLER, H. L., eds.: *Climate Change 2007. The Physical Science Basis*. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change. UK, Cambridge, Cambridge University Press; pp. 996.
- ISPRA (2009): Gli indicatori del clima in Italia nel 2008. *Rapporto Serie Stato dell'Ambiente n. 12/2009*, Anno IV.
- MALORGIO, G. and MERLONI, E. (2017): «Gestione dei cambiamenti climatici: un'indagine»; *Vigne, Vini & Qualità* 1(3); pp. 64-66.
- MENAPACE, L.; COLSON, G. and RAFFAELI, R. (2014): «Farmers' Climate Change Risk Perceptions: An Application of the Exchangeability Method»; *EAAE 2014 Congress 'Agri-Food and Rural Innovations for Healthier Societies'* 26.
- MORIONDO, M.; BINDI, M.; FAGARAZZI, C.; FERRISE, R. and TROMBI, G. (2011): «Framework for high-resolution climate change impact assessment on grapevines at a regional scale»; *Reg. Environ Change* (11); pp. 553-567.
- PACIELLO, P.; MENCARELLI, F.; PALLIOTTI, A.; CECCANTONI, B.; THIBON, C.; DARRIET, P.; PASQUINI MASSIMILIANO and BELLINCONTRO, A. (2017): «Nebulized water cooling of the canopy affects leaf temperature, berry composition and wine quality of Sauvignon blanc»; *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97(4); pp. 1267-1275.

- PALLIOTTI, A, PONI, S., PETOUMENOU, D. and VIGNAROLI, S. (2008): «Limitazione modulata della capacità fotoassimilativa delle foglie mediante antitraspiranti ed effetti su quantità e composizione dell'uva»; *Italus Hortus* 17(supl. 3); pp. 21-26.
- PALLIOTTI, A.; SILVESTRONI, O.; ZULLI, C. and DI GENNARO, S. F. (2016): «Precision farming ok anche sotto il tendone»; *Vignevini: Rivista italiana di viticoltura e di enologia* 43(3); pp. 62-67.
- Palliotti, A.; Frioni, T. and LEONI F. (2017): «Caolino a effetto sunscreen»; *Vigne, Vini & Qualità* 1(8); pp. 42-48.
- POMARICI, E. and SECCIA, A. (2016): «Economic and Social Impacts of Climate Change on Wine Production»; in SMITHERS, G., ed.: *Reference Module in Food Science*. Elsevier; pp. 1-8.
- SANTERAMO, F. G. (2018): «Imperfect information and participation in insurance markets: evidence from Italy»; *Agricultural Finance Review* 78(2); pp. 183-194.
- SANTERAMO, F. G.; GOODWIN, B. K.; ADINOLFI, F. and CAPITANIO, F. (2016): «Farmer participation, entry and exit decisions in the Italian crop insurance programme»; *Journal of Agricultural Economics* 67(3); pp. 639-657.
- SANTERAMO, F. G.; DI PASQUALE, J.; CONTÒ, F.; TUDISCA, S. and SGROI, F. (2012): «Analyzing risk management in Mediterranean Countries: the Syrian perspective»; *New Medit.* 11(3); pp. 35-40.
- SECCIA, A.; SANTERAMO, F. G. and NARDONE, G. (2016): «Risk management in wine industry: A review of the literature»; In *BIO Web of Conferences* (Vol. 7, p. 03014). EDP Sciences.
- SPANO, D.; MANCOSU, N.; MEREU, V.; MEREU, S.; ORANG, M.; SARRESHTEH, S. and SNYDER, R.L. (2012): «Assessment of agricultural water demand using SIMETAW»; *Geophysical Research Abstracts* 14, EGU2012-3406. EGU General Assembly 2012.
- TOMASI, D.; JONES, G. V.; GIUST, M.; LOVAT, L. and GAIOTTI, F. (2011): «Grapevine phenology and climate change: relationships and trends in the Veneto region of Italy for 1964-2009»; *American Journal of Enology and Viticulture*.

- TOMASI, D.; CALÒ, A.; PASCARELLA, G.; PITACCO, A.; BORSA, D. and GAIOTTI, F. (2015): «Effetti dell'incremento termico sulla qualità aromatica dell'uva: il caso della Garganega e delle sue forme di allevamento»; *Quaderni CRA Istituto Sperimentale per la Viticoltura*.
- TROMBI *et al.* (2010): «The impacts of climate change on Tuscan viticulture: quality, areas and landscapes»; *WFT*. First European Conference on Wine and Food Tourism.
- VERCESI, A. (2010): *Studio dell'ambiente viticolo attraverso la parametrizzazione (punto d'incrocio) delle curve di maturazione delle uve (Pinot nero, Oltrepò Pavese, PV Italia settentrionale 45° Parallelo Nord)*. VIII International Terroir Con.

Adaptation of viticulture to climate change in Australia

Peter Hayes

Wine Industry Strategy and Advisory

Abstract/Resumen

Australian viticulture has been long established and has extended experience with a highly variable, albeit generally arid climate. The now generally recognised onset of climate change saw growers accelerate and consolidate their processes and techniques of adaptation; this was underpinned by a solid programme of government and industry supported policy development, research and education. Water resource allocation and management has undergone very significant change over the last 2 decades and combined with refinement in irrigation monitoring, scheduling and understanding of vine stress responses has resulted in improved water use efficiency. Adaptation of canopy management techniques has delivered significant fruit quality improvement. For new vineyards, improved site selection and vineyard design and access to improved rootstocks and alternative varieties has been important.

.....

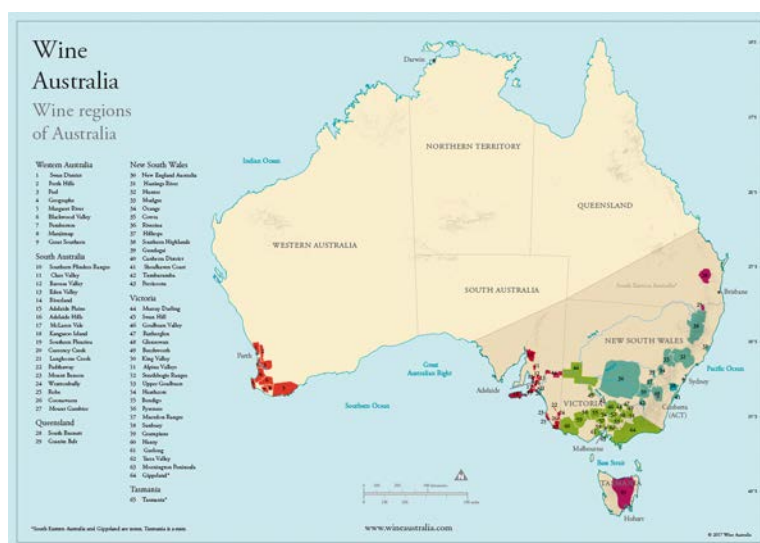
La viticultura australiana se estableció hace mucho tiempo y tiene una amplia experiencia con un clima muy variable, aunque generalmente árido. El ahora generalmente reconocido problema del cambio climático permitió a los productores acelerar y consolidar sus procesos y técnicas de adaptación; esto fue respaldado por un sólido programa de desarrollo de políticas, investigación y educación apoyado por el gobierno y la industria. La asignación y gestión de los recursos hídricos han experimentado un cambio muy significativo en las últimas dos décadas, lo que se ha combinado con un perfeccionamiento en el control del riego; la programación y la comprensión de las respuestas al estrés de la vid ha dado como resultado una mayor eficiencia en el uso del agua. Las técnicas de adaptación de manejo del dosel han proporcionado una importante mejora en la calidad de las uvas. Para

los viñedos nuevos, la mejor selección del emplazamiento y el diseño del viñedo y el acceso a portainjertos mejorados y variedades alternativas han sido importantes.

1. Introduction

Viticulture in Australia is well-established across a widely diverse array of geographic locations in southern Australia (Figure 1), entailing a range of soils, climate, management systems and product end-use including wine, dried vine fruit and table grapes.

Figure 1. Wine regions of Australia

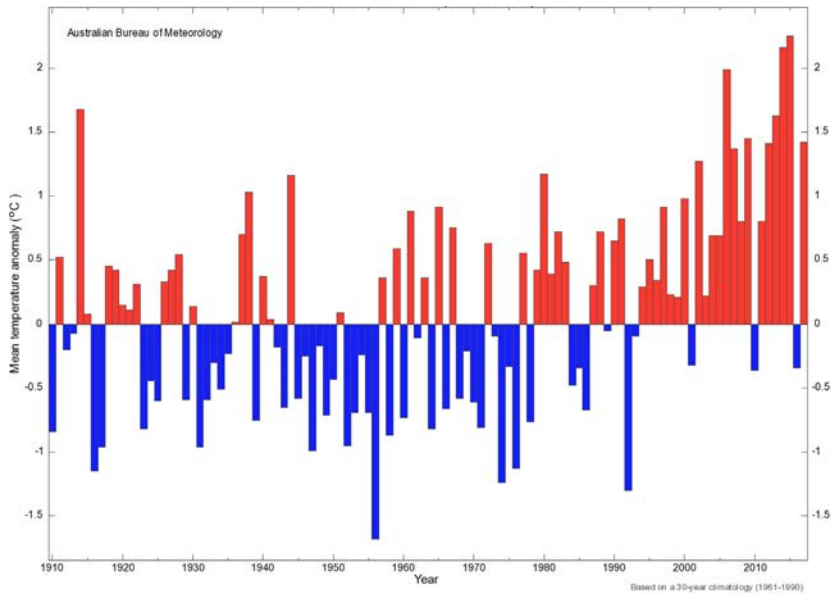


Source: *Wine Australia* (<https://www.wineaustralia.com/getmedia/9da8ba52-21da-46e8-b27e-3521d362b1c3/Australian-Wine-Regions.pdf>).

As might be anticipated, such diversity is also accompanied by a similarly diverse array of natural resource (notably water) availability and quality, competition for resources and regional economic, social and regulatory frameworks.

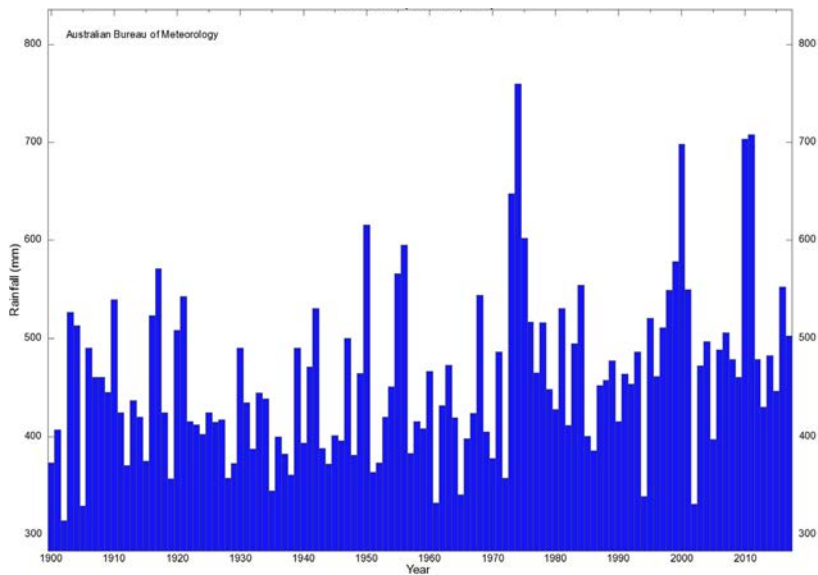
Climate *variability* is a generally expected and accepted feature of primary production in Australia (Figures 2 and 3).

Figure 2. Spring mean temperature anomaly - Southern Australia (1910-2017)



Source: <http://www.bom.gov.au/climate/change/index.shtml#tabs=Tracker&tracker=trend-maps>.

Figure 3. Annual rainfall - Southern Australia (1900-2017)



Source: <http://www.bom.gov.au/climate/change/index.shtml#tabs=Tracker&tracker=trend-maps>.

For viticultural production, depending on region and production system, many have provision for full irrigation, often drawing water from public or private group irrigation schemes; those in the more temperate-cool regions often have capacity to provide irrigation to supplement rainfall from on-farm reservoirs. In periods of severe and extended drought, lack of stored water and regulatory restrictions results in substantially restricted use of irrigation with significant impact on vineyard productivity.

Increasingly, energy availability and costs associated with pumping of irrigation water are impacting the economics of production and are stimulating innovation in energy capture and utilisation for pumping.

2. Climate trends by regions

Generally, higher annual and seasonal temperatures are being experienced across Australian production regions accompanied by varied impacts on rainfall and evaporation. In South-West Western Australia¹, a region producing premium wine-grapes, annual average temperatures have increased 0.8 °C since the 1950s and are projected to increase by 0.2-1.8 °C by 2030. Rainfall has declined by 15 % since 1976 and the pattern of rainfall has changed; there is now less winter and spring rainfall, more summer showers and less run-off events with adverse impact on surface stored water. For this region it is anticipated that there shall be a greater number of hot days (>35 °C) in summer, increased frost risk and possibly increased evaporation. Consequently, the region will likely experience impacts on yield, composition and wine style like those expected in other regions.

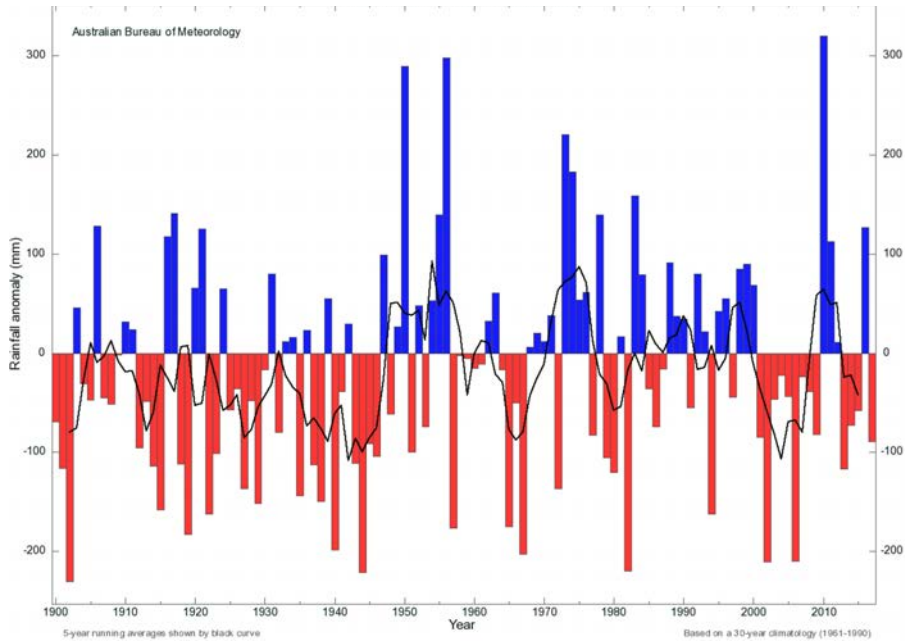
From a management perspective, the higher heat summations may produce early bud-burst and thus greater frost risk, earlier and compressed harvests creating serious logistical issues for harvest and winery intake, and greater exposure to heat wave/heat-spike damage. Less winter chilling may result in delayed or erratic bud-burst, an observation that is not infrequent after mild winters in the maritime districts of this region.

The Sunraysia Region, and others such as the Riverland and Riverina regions within the greater Murray-Darling Basin are major centres for irrigated crop production including wine, table grapes, dried vine fruit, almonds, cit-

¹ Preparing for a changing and variable climate (2009), Department of Agriculture and Food, Western Australia; <https://www.wineaustralia.com/getmedia/3b4b57fa-432d-4ff6-95f1-b865d40e92cf/RT-0702-2-Preparing-for-climate-change-Final-Report-or-GWRDC>.

rus and vegetable crops. Production potential of these hot, arid regions is entirely dependent on irrigation from the Murray and Murrumbidgee Rivers, these in themselves being subject to considerable variability of inflows and availability to supply diverse industries, communities and the environment along its length (Figure 4).

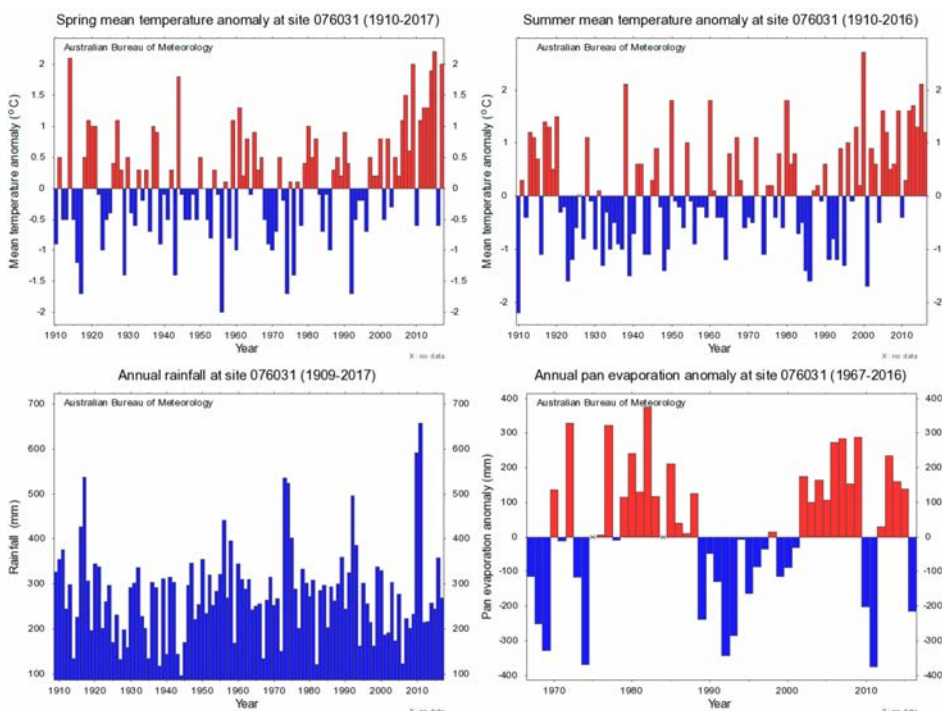
Figure 4. Annual rainfall anomaly - Murray Darling Basin (1900-2007)



Source: http://www.bom.gov.au/cgi-bin/climate/hqsites/site_data.cgi?period=annual&variable=maxT&station=076031.

Mildura, at the centre of the Sunraysia region (Site 076031), typifies the variability in climatic conditions across this major, inland, irrigation dependent production region (Figures 5).

Figures 5. Spring and summer mean temperature anomaly at site 076031 (1910-2016), annual rainfall at site 076031 (1909-2016) and annual pan evaporation anomaly at site 076031 (1967-2016)



Source: http://www.bom.gov.au/cgi-bin/climate/hq/sites/site_data.cgi?period=annual&variable=maxT&station=076031.

3. Observations of impact to date and projected impacts

Current trends in seasonal development of grape maturity are reported from 18 regions across Australia after analysis of development and maturation data over the period 1993-2006 and indicated that²:

- a) The date of designated maturity advanced at rates between -0.5 and -3.1 days/year.
- b) Within individual regions, trends in the date of designated maturity were unrelated to trends in yield; the authors suggested that further studies were warranted to better segregate and understand the in-

² SADRAS and PETRIE (2008).

fluences of distinct stages of phenological development under varied seasonal conditions and the contribution of source: sink dynamics including photosynthetic function, yield component allocation and the role of carbohydrate reserves under elevated temperature regimes.

- c) Trends of monthly temperature ranged from negligible up to 0.19 °C/year.
- d) For Chardonnay and Cabernet Sauvignon, but not for Shiraz, the rate of change in date of designated maturity was correlated with rate of change of temperature. The authors, referring to others reports, suggest differential responses between varieties may be reflected in these observations:
 - a. Shiraz (Syrah) tends to exhibit higher stomatal conductance in the face of soil-water deficits and may thus have more moderate canopy temperatures less correlated with the range of ambient temperatures.
 - b. Shiraz being relatively non-responsive, relative to the other varieties, in its reproductive performance over a range of temperatures, notably regarding bunch size primordia and in percentage fruit-set.
 - c. Shiraz demonstrating distinctive shrinking from high water loss in the latter stages of maturation.
- e) Harvest was accelerated at a rate between -0.4 and -2.4 days/year;
- f) the rate of change in harvest date for Chardonnay was commensurate with the rate of change in maturity, hence berry sugar concentration at harvest remained stable with time; and
- g) the advancement of harvest for Cabernet Sauvignon and Shiraz only partially offset the advancements in maturity, hence the increase in the concentration of berry sugar at harvest, up to ~0.3 °Bx/year.

More recently, the same authors found that the advance in ripening was essentially due to the earlier onset of ripening rather than more rapid accumulation of solutes³.

Alcohol concentration of red wines increased substantially over the period 1984-2005 with a similar increase observed for white and rose wines

³ SADRAS and PETRIE (2011).

prior to a steady reduction in subsequent years. The increase appears to be related to increased maturity of fruit over that period before the intervention of oenological technologies to adjust alcohol concentrations⁴.

It may also be that adaptation of vineyard management practices and decisions regarding harvest maturity targets have contributed to this trend. For example, it is not uncommon that harvest schedules may be adjusted to allow separate harvest of parcels from a plot from which to assemble a final wine blend; this could entail harvest of an early, lower maturity component, a generally larger component harvested at desired *optimal* maturity and possibly a smaller final component of more mature intensely flavoured (and in the case of reds, more highly coloured) fruit.

More generally, commencing in the early-mid 2000s a structured national rural industry investment programme for adaptation and mitigation research has been defined e. g. National Climate Change Adaptation Research Plan (2010)⁵ and Adaptation of the Australian Wine Industry to Climate Change - Opportunities and Vulnerabilities (2014)⁶. A range of climate change awareness, adaptation strategies and viticultural techniques was developed, discussed and delivered across the country.

These initiatives were promoted via the national industry R&D investor at the time, the Grape and Wine Research and Development Corporation (GWRDC, now assimilated into Wine Australia), in collaboration with state agencies, regional industry organisations, and other national rural R&D bodies and funding streams. Projects undertaken within this framework developed and presented an integrated programme of awareness raising, information and adaptation packages and seminars relevant to regional requirements and allowed discussion and refinement of longer-term knowledge requirements and adaptation research priorities. Much of this rural industry awareness activity has now been taken into generalised programmes such as Climate Change in Australia⁷ supported by wine-sector R&D reports and industry development activity as current priority and opportunity presents.

Themes now addressed in the research programme include⁸: Benchmarking regional and subregional influences on Shiraz fine wines; managing the impacts of climate change rainfall decline on vine balance have seen

⁴ GODDEN, WILKES and JOHNSON (2015).

⁵ <https://www.nccarf.edu.au/content/narp-primary-industries/>.

⁶ <https://www.wineaustralia.com/research/search/completed-projects/mu-08-01>.

⁷ <https://www.climatechangeinaustralia.gov.au/en/>.

⁸ <https://www.wineaustralia.com/grwing-making/environment-and-climate>.

an active root activity (to identify the cumulative effect of winter drying on vine balance and wine quality); use of Unmanned Air Vehicles for early, real time detection of extreme weather events in vineyards; Australia's wine future: Adapting to short-term climate variability and long-term climate change; mitigation of climate change impacts on the national wine industry by reduction in losses from controlled burns and wildfires and improvement in public land management; mitigation of climate change impacts (smoke taint) on the national wine industry.

4. Resource availability and allocation/access

Although not necessarily a direct driver of adaptation to climate change, the availability, reliability and cost of water is a significant issue given its leading role in mitigating the effects of aridity and heat on vine performance. Substantial policy, strategic planning and regulatory effort has been applied to the water allocation issue, recognising the interconnection of industries, communities and the environment and their high dependency on water resources in a generally arid environment with highly variable rainfall and streamflow.

The National Water Initiative (NWI), agreed in 2004 by the Council of Australian Governments (COAG), is the national blueprint for water reform⁹. This provides a framework for federal, state and regional catchment/natural resource managers to prepare comprehensive water plans, achieve sustainable water use in over-allocated or stressed water systems, introduce registers of water rights and standards for water accounting and expand trade in water rights.

Resulting from this initiative, water may be separately traded to land thereby allowing inter-property and even interregional transfer of water where hydrological and regulatory controls permit, and importantly allows competitive demand from other industry sectors and the environment. Consequently, availability and price competitiveness of water has become a key factor expressed in recent years with significant competition from a rapidly expanding almond industry in the hot, inland regions.

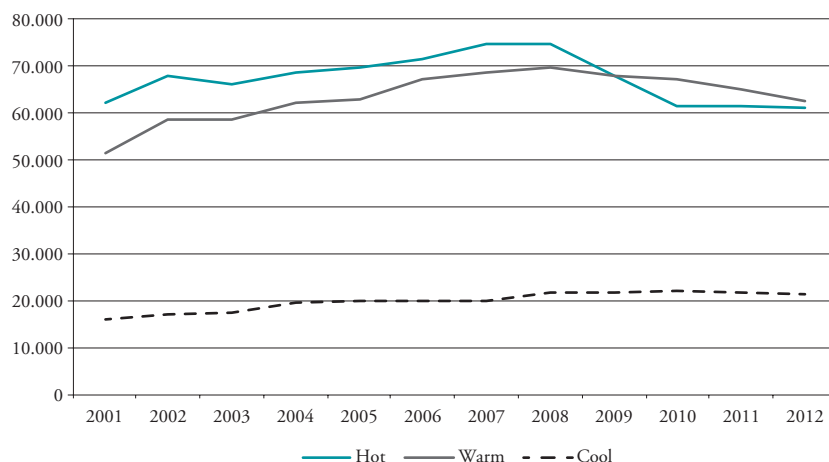
Since 2009, significant areas of vineyard have been retired from grape production in such areas as growers have taken up offers of water sales to the Commonwealth Environmental Water Holder¹⁰ or sold to other irrigation farmers, this trend being encouraged, in part by an era of depressed grape

⁹ <http://agriculture.gov.au/water/policy/nwi>.

¹⁰ <https://www.environment.gov.au/water/cewo/about-commonwealth-environmental-water>.

prices in those regions (Figure 6). Areas thereby impacted have seen and active vine-pull programme whereby vines, or other horticultural crops are removed from production as water is transferred from the property and compensation paid for the water thus taken.

Figure 6. Winegrape area and winegrape production, by climate zone, 2001 to 2012 (a) Bearing area (ha)



This has particularly been the case in the «Hot-Inland» regions where complete dependency on the Murray-Darling Basin water supply is the norm but issues with over-extraction and variable flow security has now been recognised and corrective legislation and regulation is being applied; this particularly relates to the regions Riverina, Murray-Darling and the Riverina. Severe challenges for irrigation continuity and expansion is the new reality as an «Extraction Cap» recently transitioning to a «Sustainable Diversion Limits»¹¹ has been applied and the water is now more broadly assigned to the environment, other valuable productive industries and municipal end-use.

Regional development and adaptation initiatives have also supported and facilitated regional water efficiency initiatives, commonly involving exchange of water entitlement to be applied to environmental end-uses. These programs have variously lead to property consolidation, vineyard reconfiguration, variety change, irrigation technology and scheduling upgrades with resultant improved productivity (on both an area and unit of water basis).

¹¹ See Murray Darling Basin Authority; <https://www.mdba.gov.au/> and <https://www.mdba.gov.au/basin-plan-roll-out/sustainable-diversion-limits/transitioning-cap-sustainable-diversion-limits>.

Compared with the late 20th Century during which many of the then new larger hot-inland developments relied on precision land-forming/laser grading to allow more effective surface irrigation, all new developments adopt micro-irrigation at the outset and many of these older systems are being upgraded in the 20 to 30-year renovation cycle.

By 2014/15, 90 % (112,479 ha) of the reported 125,000 ha irrigated vineyard was serviced by via drip or micro-spray irrigation with this trend anticipated to continue until such systems have completely replaced any remaining surface flow systems.

5. Vine adaptation

Australian vineyards have traditionally deployed a relatively narrow range of so-called «international» varieties (Figure 7).

Nevertheless, considerable regional establishment and evaluation of so-called «alternative varieties» –being previously lesser known or lesser trialled and favoured European varieties– has been undertaken over many years and remains ongoing. Much of this has been at the initiative of private growers and winemakers such as Brown Brothers, Yalumba Wines and Yalumba Nursery seeking to diversify their market offering, create a point of difference and at the same time to better adapt to environmental stress and climate change¹².

Alternative varieties, often but not always of southern Mediterranean or Iberic origin, now constitute an important part of the Australian domestic market and interested nursery and industry operators have created and support their own dedicated wine show¹³. These varieties include but are not limited to whites –Albariño/Alvarinho, Fiano, Friulano, Garganega, Verdejo, Verdicchio, Vermentino– and reds –Aglanico, Graciano, Montepulciano, Negroamaro, Nero d'Avola, Mencia, Sousão, Tinta Cão, Touriga Nacional, Sagrantino and Saperavi–.

Public and industry investment has been directed to R&D for the creation and evaluation of new varieties and rootstock¹⁴ to optimise water-use productivity and to better manage soil and water salinity as found in several production regions and further expressed under drought and elevated temperature conditions. In a recent project undertaken by CSIRO, 500 varieties

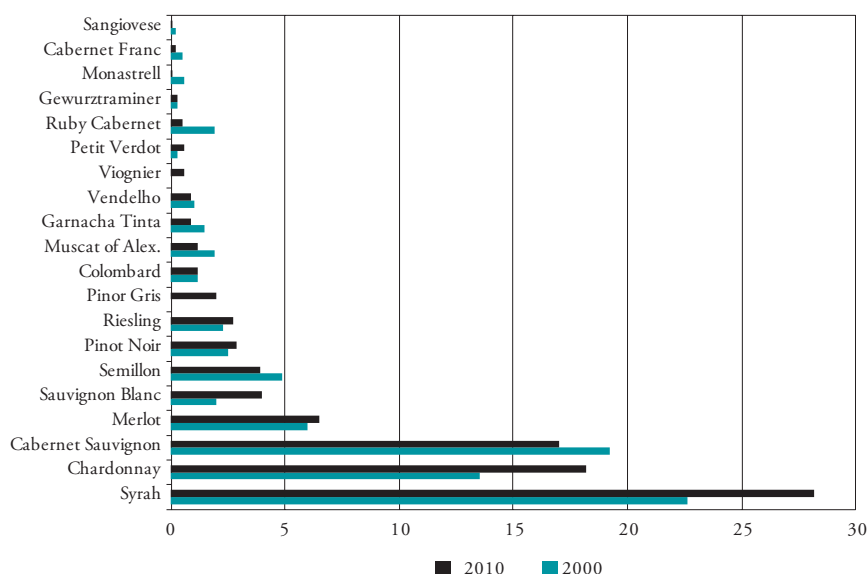
¹² <https://www.brownbrothers.com.au/about-us/our-philosophy/> ; <http://www.yalumbanursery.com/about>.

¹³ <http://www.aavws.com/enter/classes>.

¹⁴ CSIRO GRAPEVINE ROOTSTOCKS (2010).

and specific clones from the CSIRO germplasm collection, along with 10 advanced CSIRO breeding lines and 100 CSIRO ‘*Best selections*’ identified in previous small-scale winemaking studies were assessed for traits, considered to be important for climate change adaptability¹⁵.

Figure 7. National share in 2000 and 2010 (top 20 varieties in 2010) (%)



Source: Anderson and Aryal (2013).

The study identified varieties for hot conditions with characteristics of short seasonality to improve water use efficiency in hot irrigated regions; smaller canopies to minimise transpiration, improve water use efficiency and improve production efficiencies; long seasonality to ripen in cooler conditions and extend the season; optimal pH and titratable acidity levels to allow crops to be harvested at lower maturity and to produce lower alcohol wines and improved composition (pH, organic acids, colour), wine flavour and aroma.

The commercial uptake of such knowledge and plant material shall be dependent on appropriate IP management and commercial arrangements being secured for the further evaluation of newly bred material, and results

¹⁵ Enhanced varieties and clones to meet the challenges of climate change and deliver lower alcohol wines <https://www.wineaustralia.com/research/search/completed-projects/csp-0902/>; <https://www.wineaustralia.com/getmedia/c644c1c6-1530-49aca902-4c0da54425cf/CSP-0902-Final-report-public>.

from ongoing field evaluation of all *preferred* known variety material from the collection.

Issues of consumer acceptance of new or unusual varieties has, in the past, proven to be a severe constraint on the establishment of new varieties although modern media, novel pathways to the consumer and changes in consumer demographics may offer opportunity to accelerate this phase.

6. Vineyard site selection and establishment

Following the substantial growth of area and production during the late 1990s and early 2000s changed consumer preferences and market conditions along with heightened recognition of climate change impact, greater emphasis has been assigned to geographic features in site selection as winemakers reassess their variety and wine style requirements.

As noted above, considerable contraction in production from *hot* regions has occurred since 2008 whilst area planted in *warm* regions has stabilised and *cool* region area appears recently to have grown steadily. For example, Tasmania (the Island State) is the most southerly, and therefore the coolest of the Australian states, has actively encouraged development growing to a modest 1.538 ha (2013) compared with 400 ha in 1995¹⁶; it has attracted significant investment from important national winemakers and local investors.

For this same state, recent important R&D has seen developed and reported a spatial analysis tool for frost risk in Tasmania and additionally, a state-sponsored, web-based Enterprise Suitability Maps tool with specific viticultural elements to facilitate site evaluation for either sparkling or still wine¹⁷.

Increasingly, the issues and risks associated with bushfire risk and smoke taint impact on grapes and wine are considerations in site selection. Additionally, ongoing regional interactions between industry, public agencies and other private landowners in the scheduling and management of deliberate fire-risk reduction burns and management of unplanned bushfires remain of importance and require commitment over the longer-term, well beyond the establishment phase. Much effort has been applied to risk assessment, reduc-

¹⁶ The wine Industry in Tasmania (2014): *A guide for investors*; file:///C:/Users/grapw/Documents/Economics,%20Supply%20and%20Demand/Tasmania%20INVEST14053_IG_Wine_En_20150622_Web.pdf.

¹⁷ WEBB, PIRIE, KIDD and MINASNY (2017).

tion and management of bushfires and their impact on wine production with many state and regional based initiatives established to minimise impact¹⁸.

In terms of design and establishment, elevated priority has been assigned to securing reliable, long-term, cost-competitive water supplies whether from irrigation schemes or from surface or aquifers. This reflects the long-term experience of the strategic importance of full or supplementary irrigation as a basis for productivity and the timely, tactical deployment of irrigation to mitigate the not infrequent heatwaves across much of the country, including *cool* regions.

Vineyard orientation has largely been north-south reflecting traditional practice from the «old World» although many vineyards have been established with other orientations, notably east-west; in most cases the reasons for orientation will reflect pragmatic decisions regarding land-holding alignment, row length, slope and irrigation delivery, wind impact minimisation or soil type. More recently, operators have sought to minimise peak heat load where feasible (although constrained by issues as noted above) and may establish vineyards with orientation some 30-40° west of north should other factors allow.

Likewise, more considered attention is now applied to vine training with the view to creating vine configurations that facilitate self-shading of fruit. For *warm* and *hot* regions, vines are commonly trained with a fruiting wire and one or 2 fixed foliage or catch wires to allow some shoot stabilisation in the vertical plane thus rendering protection overhead, some *canopy spill* to screen the light and heat for semi-exposed fruit and potentially, one or two moveable foliage wires to cope with wind effects on the canopy.

7. Canopy management

Over recent years in the hotter locations and hot seasons, shoot management has become a prominent, active adaptation issue executed through water and nutrient management to ensure adequate canopy area and active shoot manipulation for placement to shade and protect fruit.

To retain effective shoot length, canopy area and fruit cover, limit lateral shoot development and yet establish adequate canopy porosity, shoot tipping and trimming actions are now more judiciously applied. In the hotter loca-

¹⁸ Wine grape smoke effect reduction: Smoke Taint Risk calculator (STAR); <https://www.agric.wa.gov.au/fire/wine-grape-smoke-effect-reduction-smoke-taint-risk-calculator-star> and https://www.awri.com.au/industry_support/winemaking_resources/smoke-taint/.

tions, this work is generally undertaken with adjustable, reciprocating cutter bars, angled to «skirt» drooping lower shoots and to remove tips in the top and upper quadrant, yet retaining adequate shoot length and speckled shade from mid-canopy shots. A fixed «catch wire» is commonly deployed to offer vertical shoot support in the upper part of the canopy, sometimes supplemented or replaced with 2 lift wires to enable sufficient shade above the canopy and fruit zone (Figure 8).

Figure 8. Warm-hot region McLaren Vale; 2-wire vertical system with shoots tipped to retain modest shading of fruit



In cooler regions, canopies remain, typically, Vertical Shoot Positioned (VSP) but with shoots less severely constrained to the vertical plane, allowing some shoot «spill» to afford some fruit cover and shade by foliage, especially in hot seasons (Figure 9).

Increasingly, options for treatment of canopies to alleviate heat load and to mitigate thermal stress responses are being evaluated and offered for use in Australian vineyards; these include particle film technologies (kaolin, calcium carbonate crystals), dicarboxylic acid formulations and seaweed extract products.

Figure 9. Cooler Region Adelaide Hills; VSP with limited leaf removal in fruit zone



8. Soil and water management

Unsurprisingly, perhaps the greatest viticultural R&D effort has been applied to management of irrigation supply and related vine performance. This work has included an array of work on own-rooted (still a considerable proportion of the national vineyard) and rootstock grafted vines, assessment of short and long-term responses to moderate and severe water stress¹⁹ and of vine response to interactions between elevated temperatures and water availability.

Most producers are extremely mindful of water supply availability and reliability and apply considerable attention to implementation of highly efficient irrigation systems. Irrigation supply scheduling and volumes are commonly guided by soil sensing, most usually achieved with capacitance sensors although with some use of soil matric potential and other sensors.

Many growers will deploy the short/mid-term forecasts and seasonal outlooks of weather conditions including temperature, rainfall and evaporation/

¹⁹ Integrating the carbon and water economies of grapevine for optimal management in challenging environments; <https://www.wineaustralia.com/research/search/completed-projects/ua-08-03>.

evapotranspiration to undertake water budgeting and guide irrigation planning and scheduling. A range of websites and applications from governmental and commercial agencies, along with regional weather station networks in some cases, are available to support this decision making²⁰.

Anticipating and mitigating the impact of heatwaves has become a crucial management strategy in recent times; there is much reliance on forecasted conditions and the anticipatory application of carefully considered irrigation volumes to ensure ample freely available water to assist in offsetting vine water use, retaining canopy condition and moderating leaf and fruit temperatures²¹.

This may be supplemented/complemented for more stress-prone varieties and localities by application of protectant, reflective materials such as particle film products and stress mitigating products as noted above. More commonly, attention is paid to attaining the appropriate form of soil management to maintain adequate moisture supply and minimise evaporative loss from the soil.

Annual cover crops or short-season, perennial sward species selection is commonly favoured for the inter-row region, focussed on species and varieties which use minimal water in the spring and summer and which lend themselves to minimal cultivation; increasingly, development effort has been applied to the selection and use of native arid zone species and adapted other selections²². This retains soil structure, favours rainfall infiltration and minimises evaporative loss and appears to reduce vine canopy temperatures.

Of similar focus over recent decades has been the deployment of vineyard mulches to facilitate control of soil moisture evaporation, engender cooler surface soil conditions and encourage the development and function of vine roots in the upper 15-20 cm of soil. The increased functional soil volume and more moderate conditions experienced by the vine allows greater resilience to heat and hydric stress, less frequent irrigation and reduced evaporative loss, and is often accompanied by increased productivity (Figure 10)²³.

²⁰ For example, BOM Water and the Land; www.bom.gov.au/watl/; MetEye-your eye on the environment™; http://www.bom.gov.au/australia/meteye/?loc=WA_FA001; The Yield Grower's App, <https://www.theyield.com/products/free-growers-app>.

²¹ Managing vines during heatwaves; https://www.wineaustralia.com/getmedia/90cf20af-1579-462d-b06e-35f343cbe129/201201_Managing-vines-during-heatwaves.pdf.

²² Cover Crops, Wine Australia; <https://www.wineaustralia.com/growing-making/vineyard-management/cover-crops>.

²³ BUCKERFIELD and Webster (1999).

Figure 10. Winery marc plus municipal green waste composted to a coarse mulch for vineyard application



9. Other strategies and grower education and extension relating to climate change

Recent research has evaluated delayed pruning and undervine misting as techniques to offset the impact of heat waves and while not yet adopted, the techniques appear to offer promise²⁴. Considerable industry and agency supported effort has been directed to broad industry awareness of climate change risks and related adaptation and mitigation strategies. These have entailed nationwide coordination with much regionally adapted delivery. As a result, an extensive range of educational materials have been prepared and remain available for public access^{25, 26, 27, 28}.

10. Conclusion

The Australian grape grower has long been compelled to adapt to ongoing climate variability and has based such management change upon historical experience and knowledge exchange within the industry. More recently this approach has been complemented and reinforced by a considerable nation-

²⁴ Cost-effective viticultural strategies to adapt to a warmer, drier climate; <https://www.wineaustralia.com/research/search/completed-projects/sar-1304>.

²⁵ HAYMAN, LESKE and NIDUMOLU (2009).

²⁶ Adapting to climate change, Natural Resources SA Murray-Darling Basin (SAMDB); <http://www.naturalresources.sa.gov.au/samurraydarlingbasin/projects/all-projects-map/adapting-to-climate-change>.

²⁷ Practical Knowledge for Adaptation, National Climate Change Adaptation Research Facility; <https://www.nccarf.edu.au/synthesis>.

²⁸ Australian CliMate, Climate tools for Decision Makers, Managing Climate Variability R&D Program 2018; <https://climateapp.net.au/>.

ally framed, funded and regionally adapted R&D program with results and recommendations delivered through significant generic and industry-specific extension and educational activity. Industry confidence remains that adaptive viticultural strategies potentially combined with improved vine varieties (subject to market development and acceptance) and rootstocks will see it retain its social licence to operate and access natural resources and remain internationally competitive.

To ensure such adaptation and ongoing competitiveness will require an enduring partnership in public and private investment and leadership coordinated by Wine Australia; this will be directly informed by the industry's peak national, state and regional industry bodies and delivered through a well resourced research, development and innovation network operating in collaboration with industry players.

References

- BUCKERFIELD, J. and WEBSTER, K. (1999): «Compost as mulch for vineyards, *The Australian Grapegrower & Winemaker - 27th Technical Issue*; in http://www.zerowaste.sa.gov.au/upload/resources/publications/compost/2201/compost_report_3.pdf.
- CSIRO GRAPEVINE ROOTSTOCKS (2010): <http://kcvines.com.au/pdfs/CSIRO%20Grapevine%20Rootstocks%20March2010.pdf>.
- GODDEN, P.; WILKES, E. and JOHNSON, D. (2015): «Trends in the composition of Australian wine 1984-2014»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* (21); pp. 741-753.
- HAYMAN, P. T.; LESKE, P. and NIDUMOLU, U. (2009): *Climate change and Viticulture. Informing the decision making at a regional level*. South Australian Wine Industry Association and South Australian Research and Development Institute; www.winesa.asn.au/_r5830/media/system/attrib/file/1195/Climate%20Change%20%26%20Viticulture%20Booklet%20-%20web.pdf.
- SADRAS, V. O. and PETRIE, P. R. (2008): «Advancement of grapevine maturity in Australia between 1993 and 2006: putative causes, magnitude of trends and viticultural consequences»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* (14); pp. 33-45.

- SADRAS, V. O. and PETRIE, P. R. (2011): «Climate shifts in south-eastern Australia: early maturity of Chardonnay, Shiraz and Cabernet Sauvignon is associated with early onset rather than faster ripening»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* (17); pp. 199-205.
- WEBB, M.; PIRIE, A.; KIDD, D. and MINASNY, B. (2017): «Spatial analysis of frost risk to determine viticulture suitability in Tasmania, Australia»; *Australian Journal of Grape and Wine Research Enterprise Suitability Maps* (23); pp.1-15; in <http://dpiwwe.tas.gov.au/agriculture/investing-in-irrigation/enterprise-suitability-toolkit/enterprise-suitability-maps>. Projected impact of climate change on wine grape production opportunities for growers; in <http://dpiwwe.tas.gov.au/Documents/Wine-Production-V8--31-May-FINAL.pdf>.
- WINE AUSTRALIA (2009): *Preparing for a changing and variable climate*. Department of Agriculture and Food, Western Australia; in <https://www.wineaustralia.com/getmedia/3b4b57fa-432d-4ff6-95f1-b865d40e92cf/RT-0702-2-Preparing-for-climate-change-Final-Report-or-GWRDC>.

La nueva geografía mundial del vino en un escenario de cambio climático

Pedro Ballesteros

Master of Wine

Resumen/Abstract

Una certeza respecto al cambio climático es la incertidumbre en cuanto a su impacto, que además se evidencia más en forma de accidentes que de tendencias. El principal efecto presente del cambio climático parece ser la disponibilidad de agua. Los viticultores adoptan estrategias diversas de conservación de viejas viñas, adaptación y progreso tecnológico, que puede ser que no impidan el abandono del cultivo en el medio plazo. El cambio climático es uno de los inductores para la aparición de nuevos viñedos, que se clasifican en cinco categorías: recuperación de viñedos anteriores a la «pequeña glaciación», viñedos en nuevas zonas frías, cultivo en zonas tropicales y/o monzónicas, viñas del desierto y los viñedos en altura. El desarrollo de nuevas variedades y clones es fundamental para tener éxito en el medio plazo.

.....

A certainty regarding climate change is the very uncertainty regarding its impact, which tends to become evident as accidents rather than as patterns. Climate change main present effect seems to be water availability. Vine growers adopt diverse strategies to face that: conservation of old vines, adaptation and technological development, which may not be enough to prevent abandonment in the medium term. Climate change is one of the drivers for the emergence of new vineyards, which are classified into five categories: vineyards in regions which use to produce before the «small glaciation», vineyards in cold regions, cultivation in tropical and / or monsoon areas, vineyards in the desert, and high altitude vineyards. The development of new varieties and clones is essential to be successful in the medium term.

1. Introducción

Parece haber una sola certeza en cuanto al cambio climático, que es precisamente el aumento de las incertidumbres en cuanto al clima y, muy en particular, la creciente frecuencia de accidentes climáticos de todo tipo. La falta de predictibilidad se ha convertido en un factor de primer orden.

Muchas personas podrán seguir posiciones de negación de la influencia humana en el cambio climático, opinión que un servidor que escribe respeta, pero parece bastante evidente que en los últimos años se ha producido una acumulación creciente de accidentes y de cambios que surgen tendencias por su repetición. Es de sentido común asumir que tal fenómeno no tiene visos de desaparecer y que, por tanto, los profesionales de la viticultura deben tomar medidas para adaptarse a ella, dentro de lo posible.

Es pertinente recordar que la viña domesticada es planta vieja que ya ha vivido otros episodios de cambios climáticos. La geografía del viñedo ha variado notablemente en los ocho milenios que nos consta que el ser humano cultivó viñas. La causa principal, aunque no única, de tales variaciones ha sido el clima. La experiencia conocida del pasado nos debe ayudar a reflexionar sobre posibles evoluciones futuras.

Un cultivo leñoso permanente como es la viña necesita para rendir la mejor calidad en sus frutos y un perfil climático bien definido, donde los accidentes sean excepcionales. Las grandes regiones vitícolas del mundo han adquirido su nombradía gracias, entre otras cosas, a la buena adaptación de las viñas a sus climas particulares, bastante previsibles en el medio y largo plazo a pesar de variaciones anuales más o menos marcadas. Los accidentes climáticos suponen una amenaza de gran magnitud a la propia naturaleza de esas regiones y si estos se hacen repetitivos, estamos ante un nuevo perfil climático, que tarde o temprano resulta en una nueva geografía agrícola.

2. El agua como agente de cambio geográfico

El factor climático más relevante, el accidente que de puro repetido puede convertirse en patrón del clima, es la sequía. Desde hace milenios, los agricultores mediterráneos, indios, chinos y de muchos otros lugares han tenido que aprender a afrontar los riesgos de períodos largos de tiempo sin precipitaciones. De ahí el desarrollo, desde la antigüedad, de sistemas de regadío tan ingeniosos como costosos. Las técnicas de riego tienen un factor común

en su diseño y operación: confían en un suministro regular de agua más o menos cercano en el tiempo y el espacio, en superficie o en profundidad. Allá donde se produjeron fallos en el suministro regular, se abandonó la tierra. Recordemos los casos de Mesopotamia y algunas regiones incas, por ejemplo, y tengamos presente la situación de enero de 2018 en Ciudad del Cabo, donde después de seis años ininterrumpidos de sequía, no solamente el riego se ha prohibido sino que también se contempla la interrupción del suministro de agua potable.

Los sistemas de riego modernos han conseguido aumentar las disponibilidades de agua mediante el incremento de reservas en superficie, las grandes obras de interconexión de cuencas, la capacidad de acceder a acuíferos remotos y la optimización del consumo de agua. Pero sin la renovación del recurso por medio de la precipitación, estos sistemas están abocados al mismo destino que los antiguos. La desalinización del agua marina, que supone de hecho la creación de un nuevo recurso, encuentra por ahora la limitación en su elevado coste de producción, que es asumible solo para consumo humano y para algunos cultivos de primor.

Las sequías muy prolongadas agotan la posibilidad de mantener cultivos, no solo por la propia carencia de agua sino también por los efectos que provocan en su ambiente. Los recientes incendios muy tardíos en California y Galicia nos recuerdan este hecho. La tecnología no puede todavía generar el recurso agua de cultivo a un coste asumible.

Las olas de calor recurrentes (como las que sufren las regiones de Curicó y Valle Central en Chile, o Victoria en Australia), las heladas de primavera seguidas de días cálidos, que destrozan los sistemas vitales de las plantas, los vientos siempre más violentos, los tornados en lugares en los que no hay memoria de haberlos conocido, las inundaciones, no por habituales, menos catastróficas... son factores que cuando adquieren dimensión y frecuencia suficientes también inciden en las decisiones de los viticultores sobre la geografía del viñedo.

El efecto en el paisaje del cambio climático depende grandemente del valor esperado de la producción de vino. La mayoría del vino obtenido en el mundo se puede considerar de carácter intensivo. Se produce en viñedos de alto rendimiento que requieren un elevado aporte de insumos, fundamentalmente agua, abonos y productos fitosanitarios. Los factores principales que influyen en las decisiones de inversión para su plantación son la insolación suficiente y la disponibilidad de agua a bajo coste. En este tipo de vinos, la

resiliencia frente a variaciones de costes en los insumos es aceptable en el corto plazo, pero muy baja a medio plazo. Es decir, las regiones de viñedo intensivo tienen muchos problemas para superar crisis plurianuales o incrementos de costes permanentes. Una simple internalización de los costes del agua (facturar el agua a un precio que represente el coste real para el ecosistema), acabaría con una buena parte de esos viñedos, que no podrían ser rentables.

Hay otras regiones que, por sus características climáticas naturales, pueden asumir un nivel más alto de insumos sin por ello ser menos resilientes. Así, mientras que el cultivo intensivo de uva para destilar en la región de Cognac es sostenible, gracias a la alta precipitación en la zona, se presenta como muy frágil en el medio y largo plazo en la zona de La Mancha, donde es completamente dependiente de sistemas de regadío que explotan un recurso cada vez más escaso. Armagnac presenta una situación intermedia, habiendo registrado una notable disminución de precipitación en los últimos 30 años, que podría hacer que una recuperación del viñedo intensivo tuviera que ser sostenida por sistemas de riego. Es curioso que la estrategia de sustitución de importaciones planteada por el Gobierno francés en su documento *France 2025*, que incluía entre otras medidas favorecer la plantación de viñedo muy tecnificado e intensivo para sustituir las importaciones del vino barato español, particularmente en la zona del viñedo de Armagnac, ya entonces en regresión, haya caído en un cierto olvido, probablemente porque no se consideró el coste del agua en situaciones de carestía.

Una parte siempre menguante de la producción de uva para vino viene de viñedos en secano de bajo rendimiento y baja demanda de insumos. Estos viñedos presentan una gran resiliencia pero son de escaso interés en años productivos, puesto que no se mecanizan y generan rentas brutas más bajas que los de intensivo. Por ello, hay una tendencia a arrancarlos, excepto en los casos de vinos de prestigio.

Para paliar tal tendencia, la estrategia que se aplica allá donde se puede es la de valorizar esos viñedos, tanto con mejoras en viticultura y vinificación como con estrategias eficientes de comunicación y distribución, siempre en un contexto donde la situación económica del país lo permita. Una segunda estrategia muy prometedora sería las declaraciones de protección del paisaje en esas zonas, en la que se incluya una definición de la viña vieja y su entorno (por ejemplo, las terrazas), como patrimonio cultural y natural. No tengo constancia de que haya progresado tal medida, parece que las acciones de protección del paisaje se dedican por ahora a zonas que ya aseguran esa pro-

tección por el alto valor añadido que generan sus viñedos, lo que no deja de ser un ejercicio de autopromoción sin consecuencias sobre el paisaje. Tal es el caso de las numerosas declaraciones de la UNESCO sobre viñedos que, por desgracia, no incluyen una sola sobre aquellos abandonados o en peligro de dejadez por falta de rentabilidad.

3. Alternativas tecnológicas para viñedos en riesgo de abandono y vinos de pasto

Frente al cambio climático, el agricultor se enfrenta a tres posibilidades: adaptar el viñedo, replantarlo en un modo resiliente o abandonarlo.

La *adaptación* tiene una gradualidad, que depende de muchos factores externos. Empieza por los cambios en las labores de campo y puede resultar en modificaciones con los sistemas de conducción de la viña, de riego, de reinjertos o de replantaciones con esquemas diferentes. Como se analizaba en otros capítulos de este libro, aquí solo cabe señalar que puede ser un factor muy relevante en el cambio de paisajes vitícolas.

El *arranque y replantación* con otro cultivo, como con el aguacate, el almendro, el olivo, etc.

El *abandono* de la viña tiene también varias posibilidades, todas ellas probables en diferentes regiones del mundo. Se abandona la tierra, por no haber otro cultivo que pueda ocuparla con beneficio.

Sin embargo, las diferentes respuestas al cambio climático no tienen por qué ser alternativas ni sucesivas, ya que cualquier combinación es posible. Su ejecución depende tanto del medioambiente como de los factores culturales, de mercado y de los progresos en viticultura y enología, además de las preferencias gustativas de los consumidores (pidiendo vinos con más o menos azúcar residual, morbidez de los taninos, intensidad frutal y otras características).

El cambio climático también induce, directa o indirectamente, a la aparición de nuevos viñedos. Es curioso, sin embargo, notar que ninguno de los nuevos viñedos del mundo parece tener las condiciones naturales para reemplazar las zonas actuales de producción intensiva de forma económica. No hay una sola nueva región vinícola que presente conjuntamente las características de los grandes viñedos de uva de cuba intensivos: amplia disponibilidad de tierra, suficiente acceso a agua a coste muy bajo o nulo, insolación suficiente y existencia de una estación seca y cálida. Ese es el caso de las regiones que

producen la mayor parte del vino a granel que se comercializa en el mundo: La Mancha, Valencia, Puglia, Sicilia, *Languedoc*, *Central Valley* en California, Riverina en Australia, los valles centrales chilenos o *Paarl* en Sudáfrica. En mayor o menor medida, todas ellas tienen la amenaza de carencia de agua.

La alternativa a esos viñedos es por ahora altamente improbable. Podría pensarse en grandes zonas productoras de los antiguos países comunistas, como Moldavia, Ucrania y Rusia, pero hay razones de peso que pueden ralentizar esta mudanza. En primer lugar, las inversiones necesarias en infraestructura son muy respetables y las restricciones a la propiedad privada no ayudan a superar este problema. Después, la estabilidad política y de comercio en estos países no permite un acceso sencillo a los mercados occidentales, que son los principales consumidores del vino de pasto actual. Finalmente, también en estos países hay problemas debido al cambio climático, aunque sean menos importantes económicamente que en las regiones antes mencionadas.

Bulgaria y Rumanía, países que, al ser pertenecientes a la Unión Europea, tienen un mejor acceso a inversiones y mercados, son el centro de algunas inversiones occidentales, pero por ahora no ha habido un claro movimiento hacia la producción intensiva de vino a granel que compita con los productores tradicionales. Los gobiernos búlgaro y rumano muestran lógicamente un mayor interés por vinos más cualitativos, pero los resultados hasta ahora son bastante reducidos.

El viñedo es un cultivo de rentabilidad, que no de necesidad. Las decisiones sobre plantación y arranque son en consecuencia decisiones económicamente racionales. La viña puede rendir frutos de alta calidad en suelos muy pobres y con insumos mínimos, incluso nulos, pero con rendimientos muy bajos.

Mientras que la humanidad no dispuso de las tecnologías y sistemas organizativos para producir alimentos en cantidades sobradas, la viña estuvo proscrita de los suelos más fértiles. Pero cuando la abundancia de comida y la demanda internacional lo permitieron, se pudieron plantar viñedos de muy alto rendimiento, que precisaban de mucha mano de obra, agua, abono, luz y calor, y particularmente sensibles a plagas y enfermedades.

Con los avances en la mecanización agrícola, los nuevos viñedos intensivos sustituyeron rápidamente a muchos de los clásicos de ladera y secano, para los que todavía no existía un mercado que apreciara sus calidades, puesto que producían grandes cantidades de vino a costes muy reducidos. En Europa, tal sustitución fue activamente acelerada por las autoridades, que veían en la

intensificación del viñedo un vector de desarrollo. De hecho, tanto capitalistas como comunistas convergieron en tal política: como las reconversiones de viñedo en Rheinhessen, Languedoc o La Mancha, bajo regímenes liberales y democráticos, que son bastante comparables a las de Bulgaria, Georgia o Armenia en los tiempos soviéticos. Todas esas reconversiones tuvieron un factor común: la búsqueda de la rentabilidad por medio de la mecanización y de los altos rendimientos.

También se asumió una hipótesis que, hasta hace poco, demostró ser plausible. Mientras que el coste del trabajo aumentaría siempre, por lo que había que mecanizar al máximo, los costes de los insumos bajarían gracias a los avances tecnológicos y al crecimiento del mercado. No se anticipó entonces que la naturaleza pudiera imponer límites, mucho menos a un cultivo tan austero en el uso de recursos naturales como es el de la viña.

En la mayor parte de las regiones vinícolas, los sistemas de conducción del viñedo se cambiaron para adaptarlos a las nuevas máquinas; poco importaba que fueran claramente inadaptados a los climas en que se implantaban, porque bastaba añadir más tecnología para obviar tal inconveniente. En muchos climas mediterráneos, los vasos protectores del racimo, austeros y sanos fueron reemplazados por espalderas que no podrían sobrevivir sin riego y abonados.

Los poderes públicos mostraban particular orgullo en la extensión de los regadíos, sin que importara mucho para qué (el caso del tabaco en Badajoz es ejemplar) y ponían empeño en garantizar que el agua fuera muy barata. Todavía hoy, el concepto de internalizar el coste real del agua en su precio es un asunto inabordable para el sector agrícola, a pesar de la evidencia. La principal razón para tal oposición está en la propia naturaleza de los mercados globales, cuya organización favorece la competencia sobre precios, mientras que dificulta la internalización de costes ambientales y territoriales. El caso es que es probable que la Naturaleza no considere los mercados y se pase de una situación en la que el agua es un insumo barato a otra en la que se abandona el cultivo por falta de agua, casi sin solución de continuidad.

Este desafío es el día a día de regiones como Riverina en Australia, cuyas aguas de regadío presentan unos niveles cualitativos y cuantitativos cada vez más pobres; de Franschhoek y otras zonas sudafricanas, que ven la imposibilidad de mantener muchos de sus viñedos más competitivos; de *Central Valley* en California o de los cultivos intensivos de uva antes para destilación en La Mancha en España.

En el medio plazo, es probable que tales cultivos deban desaparecer (a cambio de nada, puesto que pocos cultivos pueden reemplazar a la viña, en términos de eficiencia en el uso de recursos) o adaptarse a una situación de carestía sistemática de agua. Pero una tal adaptación supone, con toda probabilidad, una reducción de rendimientos, que solo es factible con un aumento equivalente de la calidad percibida y con la capacidad del mercado para pagar mejores precios por esos vinos. Tales condiciones me parecen poco probables en la mayor parte de esas regiones, no solo por sus propios potenciales sino también por la saturación de los mercados de vinos de calidad.

Un ejemplo a tener en cuenta es el de la región chilena de Limari, una zona semidesértica con condiciones de temperatura e insolación ideales para el cultivo de la viña, que se plantó a finales del siglo XX contando con el entonces abundante recurso hídrico. La persistente sequía, ya casi de diez años, ha obligado a algunos productores de referencia a abandonar los viñedos para las gamas de vino más bajas y mantener únicamente las gamas *premium*, mientras se pueda.

Como ha sido mencionado anteriormente, los viñedos intensivos necesitan de una mecanización intensiva. Esto es una condición imprescindible para la producción competitiva de vino. Las limitaciones tecnológicas y la falta de inteligencia artificial en los sistemas de mecanización del siglo pasado obligaron a que las plantaciones se diseñaran de acuerdo a las capacidades de las máquinas. Hoy por hoy es posible construir nuevas herramientas que se adapten a las necesidades de los viñedos y que podrían ser diseñadas de acuerdo al sistema óptimo de conducción en sus condiciones ambientales. El estado del arte de la inteligencia artificial, incluyendo sistema de visión artificial, manejo de algoritmos complejos, Internet de las cosas y tantos otros, permite asegurar que, en el futuro, a corto plazo, dispongamos de máquinas adaptadas al viñedo en lugar de lo que disponemos ahora, que son viñedos adaptados a máquinas.

El coste marginal del tiempo de trabajo de las máquinas puede ser muy reducido, por lo que no hay razón para buscar modelos vitícolas en razón del ahorro de trabajo. Del mismo modo que hasta ahora el trabajo era el factor limitativo y la naturaleza del insumo gratuito (o casi), el viñedo del futuro podrá contar con un trabajo mínimo, pero deberá ser capaz de ser austero y resiliente en su relación con el medio. Será entonces necesario diseñarlos de tal manera que minimicen sus necesidades ambientales, manteniendo los niveles de producción y calidad aceptables, gracias a un trabajo más intenso en suelo y plantas. Así, es posible una nueva ecuación en los viñedos intensivos.

No debe haber ninguna barrera conceptual para mecanizar el trabajo de detalle en las cepas en vaso, que tan bien se comportan en climas de alta insolación y baja precipitación, o en las de parras, pérgolas e incluso cultivos mixtos. Una adopción extensa y veloz, de nuevos métodos de mecanización que resulte en viticulturas mejor adaptadas a sus climas respectivos, permitiría dar una oportunidad de supervivencia en el medio plazo a muchos de los viñedos más amenazados por la falta de agua.

Con la mecanización inteligente, los nuevos paisajes vitícolas de una buena parte del mundo presentarían una diversidad esplendorosa de sistemas de conducción de la viña, cada uno de ellos adaptado a su particular terruño y nicho de mercado, con criterios exclusivamente basados en la integración de la planta en su ambiente.

4. Los nuevos viñedos finos en el mundo

Cuando en lugar de vino de pasto (o de mesa) hablamos de vino fino, entramos en contacto con la parte mágica del negocio del sector. No hay probablemente cultivo que despierte más capacidades para desarrollarse, contra todo viento y circunstancia, que el de la viña. La propia calidad del vino, que tanto se asocia con regiones al límite de lo factible y con trabajos heroicos, es ya un valor, puesto que provoca una expectativa de altos ingresos. El hecho de que las buenas tierras de viñedos ofrezcan pocas alternativas de cultivo es también importante. Pero hay un elemento extraordinario de pasión humana por la viña, que va más allá de la lógica económica. Del mismo modo que cuesta entender, en términos racionales, los trabajos que motivaron en su tiempo la desecación de las marismas del Médoc, el paisaje hoyado de Lanzarote o las terrazas imposibles de la Mosela, los ímprobos esfuerzos en los nuevos viñedos de varias zonas del mundo, que sorprenden por su heroicidad.

Distinguimos cinco tipos de nuevos viñedos en el mundo. Todos ellos requieren esfuerzos extraordinarios para su desarrollo y, en todos los casos, el cambio climático es una de las razones principales para su surgimiento, aunque no la única.

4.1. Los nuevos viñedos en zonas con tradición histórica

En primer lugar, están aquellos situados en regiones donde se cultivaba la viña antes de la «pequeña glaciación» (comienzos del siglo XIII hasta el siglo

XX): el Mosa en Bélgica, Kent en Inglaterra, Saale-Unstrut en Alemania o la reciente denominación de origen belgo-holandesa Maasvallei Limburg. Se caracterizan todos ellos por tener un pasado remoto con evidencia de cultivo de viña, casi siempre asociada a la presencia permanente de instituciones religiosas, por situarse en áreas de alta densidad de población y por haber sido (casi) abandonado el viñedo durante la Baja Edad Media.

Hoy por hoy son regiones con pequeños volúmenes de producción, con un valor añadido muy alto. Parte de ese valor viene dado por el elevado interés de la tierra en zonas tan pobladas, otra parte por el amor a lo suyo de los bebedores de esos lares y otra más por los grandes costes de producción en climas todavía al límite de la capacidad de las viñas para madurar uvas.

Algunos de estos viñedos fueron ya plantados en el siglo XX con cruces intraespecíficos como Johaniter, Rondo, Dornfelder, Seyval, Ortega (una variedad así nombrada en honor del filósofo español) y otros. Desde comienzos del siglo XXI se plantan, cada vez más, con variedades internacionales aptas para vinos espumosos y de mesa, como Chardonnay y Pinot Noir, con resultados más que apreciables. A día de hoy, algunos espumosos producidos por el método tradicional, a partir de viñas plantadas en suelos calcáreos en Inglaterra y en Bélgica, son de calidades –y precios– comparables a buenos vinos de Champaña. Los vinos tranquilos blancos van algunos pasos por detrás, pero avanzan.

Estas nuevas regiones pueden deber su propia existencia al cambio climático, aunque es muy probable que su posicionamiento de alto precio en el mercado deba mucho también a la predisposición de los consumidores a premiar este tipo de vinos por su propio origen.

En cualquier caso, es altamente improbable que estas zonas lleguen nunca a producir cantidades relevantes, por lo que no parece posible que sus mejores vinos puedan competir con los grandes clásicos en los mercados internacionales (aunque, seguramente, sí en los locales –basta ver la presión mediática sobre la Corona y otras instituciones inglesas, para que el espumoso inglés sea el vino de las cenas oficiales–).

España tiene sus particulares regiones frías a rescatar en Liébana, Cangas de Narcea y Betanzos, todas con cierta tradición histórica y un largo abandono.

4.2. Los nuevos viñedos en zonas sin tradición histórica

En segundo lugar están los viñedos en zonas frías, sin evidencia histórica anterior: Québec, Ningxia, Xinjiang, Dinamarca, Suecia, Polonia, Patagonia, sur de Chile, Norte de EEUU y Columbia Británica. Estos viñedos se benefician de los avances impresionantes de la viticultura y, en muchos casos, de una expectativa de valor añadido que justifica inversiones considerables.

En algunos casos, las producciones de estos viñedos son de nicho, como los famosos vinos de hielo canadienses, que se pueden obtener dejando que las uvas se concentren en la propia vid por efecto de las heladas de invierno. En la zona de Quebec hay que cortar los racimos y dejarlos que se sequen sobre redes que se disponen encima de la propia viña, para evitar que queden enterrados en la nieve, de tan abundante que es.

Los nuevos vinos escandinavos, así como los polacos, son de un nicho muy local, todavía, mayoritariamente, hechos de variedades de uva híbridas pero cualitativamente importantes en esos mercados.

Otras nuevas regiones en zonas frías son el resultado de la búsqueda incesante de la frescura por productores establecidos en grandes países, donde el calentamiento del clima afecta de modo relevante, y casi constante, a las propiedades organolépticas de los vinos que provienen de sus propias zonas clásicas y el país ofrece otras regiones más frías. Las huidas al frío más importantes se producen en: Argentina, con la exploración de la Patagonia y de la costa atlántica; Chile, con la huida hacia el sur (Bio Bio); EEUU, con el desarrollo de los viñedos en estados nortños (hoy por hoy se produce vino en todos los estados de EEUU, incluido Alaska); Australia, con la colonización vitícola de Tasmania, donde se dan unos vinos espumosos óptimos, y en Nueva Zelanda, con el acelerado desarrollo de la región de Otago. España contribuye a este movimiento hacia zonas más frías con el desarrollo de los txakolis de Vizcaya y Álava y de los viñedos en laderas orientadas al norte en zonas como Ribera del Duero.

Hay dos principales dificultades para el cultivo de la viña de calidad en nuevas zonas frías. Primero, la temperatura no es más que uno de los determinantes de la calidad, o del terruño si se quiere. Para alcanzar un alto nivel cualitativo se requeriría que las condiciones de suelo, variación diaria y estacional de temperaturas, orientación, insolación y otras tantas fueran adecuadas, lo que no es fácilmente deducible antes de decidir sobre las plantaciones. En segundo lugar, el material genético que se planta —las variedades de uva— presen-

ta óptimos potenciales de calidad en zonas de climatología distinta a las nuevas zonas, por lo que su adaptación resulta a menudo bastante problemática.

4.3. Los nuevos viñedos en zonas tropicales o monzónicas

El tercer grupo de nuevos lugares vitícolas es el de los viñedos en zonas tropicales o monzónicas, que se benefician del agua abundante y de los avances de la viticultura tropical y de la enología –Ecuador, Tailandia, India y Brasil–. Estos representan una nueva frontera en el desarrollo de la viticultura y se favorecen grandemente de una aproximación cualitativa, en la que el cambio climático tiene una cierta influencia.

Son viñedos que necesitan un alto nivel de insumos para su desarrollo. Casi todos ellos dan dos (algunos tres) vendimias al año, una sola de ellas con calidad suficiente para vino fino. Los ciclos de crecimiento y fructificación de las vides se regulan con tratamientos hormonales y sufren vidas cortas por agotamiento prematuro. Las condiciones climáticas en el trópico impiden a menudo que las uvas puedan madurar completamente, lo que deja un buen campo de trabajo a los enólogos para obtener vinos de calidades bastante decentes. Algunas expresiones muy particulares, como vinos aromáticos por acción de levaduras seleccionadas, vinos hechos sobre uva desecada o vinos espumosos, son notables desde el punto de vista comercial.

Los altos costes de producción en estos viñedos, junto a una imposibilidad aparente de pasar por encima de un cierto techo de calidad, hacen de estos vinos un complemento interesante a escala local, pero poco significativo en el comercio internacional. Son, además, vinos de una sostenibilidad bastante dudosa.

4.4. Los nuevos viñedos del desierto

El cuarto grupo está constituido por los viñedos del desierto: Ningxia, Xinjiang, Limari y Negev. De alguna manera, estos son en los que se desarrolla la viticultura de alta eficiencia en el uso del agua y muestran los límites para el cultivo de la viña para vino de pasto en condiciones de escasa precipitación. Los costes de producción son de media muy elevados, lo que hace que se posicionen en nichos de precios altos.

Las regiones chinas de Hebei, Xinjiang y Ningxia tienen climas continentales desérticos extremos, alcanzándose temperaturas muy altas en verano y

extremadamente bajas en invierno. En estas zonas se ejemplifica la motivación humana, que muestra una de las características más notables y menos científicas del cultivo de la vid para vino, «no hay dificultad, por extrema que sea, que impida el cultivo de la viña si la naturaleza permite una buena maduración de los racimos y hay gente con ganas y posibilidades de pagar sus vinos». En estas regiones, las viñas deben enterrarse cada invierno, para hacerlas sobrevivir cuando las temperaturas exteriores son menores o iguales de -30 °C. Las consecuencias son dramáticas, no solo en los evidentes términos de costes sino también en la esperanza de vida de las propias vides, que mueren en plena juventud exhaustas. Sin embargo, Ningxia se ha constituido en la abanderada del vino fino chino. Sus vinos, algunos de ellos de indudable calidad, alcanzan precios muy superiores a los de la mayor parte de los finos europeos.

Negev es un ejemplo de empeño casi político por parte de los líderes de Israel, encabezados por el mítico Ben-Gurion, de plantar vides en un desierto donde la protohistoria dice que había viña. La combinación de la voluntad política y la tecnología adecuada, con una cierta dosis de necesidad existencial de desarrollar una agricultura israelita autosuficiente, en base al uso más inteligente posible del agua, han dado lugar a este viñedo, altamente significativo, como punta de lanza de la tecnología de riego. Este ejemplo es aprovechado en otras zonas desérticas emergentes como Coahuila en México o, en menor medida, Almería en España.

4.5. Los nuevos viñedos de altura

El quinto grupo son los viñedos de altura: Shangri-La, Tarija, Querétaro, Gualtallary, Pirineos y Andes chilenos. La experiencia climática nos dice que la altitud compensa la latitud, en términos de temperaturas medias –las estimaciones varían en torno a una disminución de 0,8 °C por cada 100 m de incremento de altitud–. Esta ha sido la razón crucial para la exploración de regiones altas en los principales países productores que se lo pueden permitir. Es equivalente a la exploración de zonas más frías anteriormente descrita y presenta problemas conceptualmente similares (ver punto 2). En el caso de la altitud, el nuevo clima no tiene por qué ser como el de una región clásica pero más frío (de hecho no lo es nunca), sino que es uno con otros ciclos y puntualidades que no está necesariamente adaptado al vino fino. Además, la compensación altitud/latitud no concierne más que a la temperatura media. Factores claves para la madurez fenólica de las uvas, como la duración del día

solar durante la estación de maduración, dependen únicamente de la latitud. Es por ello que muchos vinos producidos con variedades de latitudes altas presentan simultáneamente un grado alcohólico muy alto, una acidez baja y falta de madurez fenólica.

No obstante, hay un buen número de casos de éxito, que merecen ser reseñados, porque sin duda formarán parte de la geografía de la viña del futuro próximo. El más notable es el de Gualtallary y Salta en Argentina, donde una serie de condiciones naturales apropiadas a las variedades Malbec y Cabernet-Franc, así como la presencia de equipos de expertos de muy elevado nivel, han resultado en una nueva zona de muy alto potencial cualitativo.

El reciente reconocimiento internacional de los vinos del Etna está en gran parte impulsado por esta búsqueda de la altitud —y de la ligereza de los suelos volcánicos—, motivada por los cambios organolépticos de los vinos clásicos debidos a las nuevas condiciones climáticas. Asimismo, los niveles crecientes de calidad en los vinos del Valle de Aosta y del Valais suizo deben una parte de su mérito al calentamiento del clima en sus regiones. Esperamos ver muchos más vinos de montaña en los próximos años, aunque probablemente en franjas de precio muy elevadas.

El Altiplano mexicano presenta uno de los potenciales de calidad y cantidad más interesantes del mundo. Se trata de una zona donde el viñedo fue un cultivo altamente exitoso pero que, sin embargo, fue abandonado durante varios siglos. En este caso, el abandono no se debió a un problema climático sino a la decisión política de Felipe II y sus sucesores de limitar, y luego prohibir, el cultivo de la viña para proteger los intereses de los productores de la España metropolitana. Curiosamente, esa plantación se desarrolló posteriormente en México en zonas más sensibles al cambio climático, como es la cálida Ensenada, y solamente en el siglo XXI ha habido una convergencia suficiente de medios económicos y técnicos para desarrollar un nuevo viñedo, con ambiciones de ocupar un nicho de mercado en el mapa de vinos de calidad. La mejor resiliencia climática de los mejores terruños en los estados de Hidalgo, Querétaro y Guanajuato es una prenda de esperanza.

El grupo LVMH, líder mundial de productos y vinos de lujo, ha realizado una apuesta espectacular por el vino de altura, en un lugar bastante insospechado. Buscando producir un vino de gran reputación en China, las gentes de Lafite-Rothschild pensaron que los climas monzónicos de Shendong, la región más típica para el viñedo en el país, no reunían las condiciones suficientes para su proyecto y fueron a una zona muy aislada, a más de 2.200 metros

de altitud, en pleno trópico de la provincia de Yunnan, cerca de la mítica Shangri-La. Es de esperar que este ejemplo extremo sea seguido por otros muchos productores en los años venideros, a pesar de los indudablemente altos costes que tal decisión supone.

Algunos productores chilenos están haciendo un esfuerzo similar de exploración en altura de los Andes, que aún es demasiado pronto para comentar. Los mejores viñedos israelíes de Galilea se encuentran también en altitudes próximas a los 1.000 metros, lo que usan como factor explicativo de una buena calidad comercial. Un nuevo país vitícola, de sorprendente interés, es Bolivia, donde se ha desarrollado en la región de Tarija toda una cultura del viñedo de gran altura, rindiendo calidades comerciales bastante aceptables. Asimismo, Colombia también está desarrollando nuevos viñedos de altura.

En España, la exploración del Pirineo es ya un hecho, en el que por ahora hay más esperanzas bien fundadas que realidades ciertas. Por su parte, Barranco Oscuro en Sierra Nevada puede ser la avanzadilla de una nueva región vinícola (o rescatada del tiempo de la Reconquista).

Por desgracia, no es posible responder a los desafíos que el cambio climático presenta a la viña con un simple cambio de localización o con la creación de nuevos viñedos en zonas potencialmente interesantes. Esto es debido a la propia complejidad de los ciclos vitales de la planta, de sus interacciones con el medioambiente y de las condiciones que la uva debe reunir para rendir un vino de calidad. Las nuevas geografías del vino en el mundo no tienen por qué representar productos de expresiones equivalentes a los del pasado cercano. Muy probablemente nos encontraremos con vinos nuevos y distintos.

Se deben en cualquier caso reflexionar si los vinos de los nuevos lugares tendrán niveles cualitativos equivalentes o inferiores. Además, es importante tener en cuenta los factores productivos, puesto que como se ha señalado anteriormente, las nuevas zonas tienden a ser de alto coste de producción.

Hay un factor inquietante en este razonamiento. El material genético con el que se realiza la ocupación de nuevos territorios consiste, casi siempre, en variedades foráneas a la zona. Tales variedades han sido seleccionadas, a veces durante siglos, para producir una expresión cualitativa en un ecosistema diferente al de las nuevas regiones. Es entonces bastante lógico asumir que sea muy probable que las variedades clásicas den un nivel cualitativo inferior en las nuevas regiones. Este es el caso de la mayoría de las mencionadas, con alguna notable excepción.

La solución lógica a este problema es afrontar de forma acelerada lo que nuestros ancestros hicieron durante siglos, el desarrollo de variedades y clones de uva adaptados a las condiciones ambientales en las que crecen, con una perspectiva de rendir máxima calidad. Este gran trabajo se debería completar con un segundo esfuerzo aún más importante, que es el de desarrollar nuevas variedades y clones adaptados a las nuevas condiciones climáticas en las zonas clásicas, puesto que las variedades clásicas ya no crecen en las mismas condiciones para las que fueron seleccionadas.

La gran objeción a este desarrollo, en cualquier caso necesario, es la propia incertidumbre del cambio climático. Sabemos que se están produciendo cambios, pero ignoramos si se llegará, y cuando, a una nueva situación climática, por lo que no disponemos de referencias precisas. Solamente podemos avanzar en función de las tendencias apreciadas, desarrollando nuevas variedades más resistentes a la sequía, con una producción menos eficiente de azúcar a alta insolación, con capacidad para conservar su acidez, alcanzando madurez fenólica plena en ciclos diferentes, exploración profunda de suelos, etc. Será, obviamente, también fundamental desarrollar nuevas variedades y clones de patrones portainjertos.

La base genética de las principales variedades parece ser una pista muy valiosa de exploración. José Vouillamoz señala que las variedades de uva más antiguas se han adaptado con éxito a diversos cambios climáticos. Su resiliencia puede ser un factor de máximo interés para desarrollar las vides del futuro. Las capacidades de adaptación y los potenciales de calidad de variedades como Cariñena, Cabernet Franc, Savagnin o Riesling son muy interesantes.

En los últimos años se ha registrado un gran esfuerzo internacional por rescatar variedades autóctonas de la extinción, con resultados que a veces son espectaculares en términos de calidad. Los nuevos vinos españoles de Querol, Prieto Picudo, Carrasquín, Moneu y tantos otros son un buen ejemplo. A menudo son variedades bien integradas en sus climas, que presentan condiciones de resiliencia para adaptarse a las variaciones climáticas y que son, por su propia naturaleza, poco exigentes en materia de insumos (y poco productivas, por lo que probablemente fueron poco consideradas en el pasado).

Asimismo, tiene un gran interés la recuperación de viejos clones de variedades principales que, durante la segunda mitad del siglo pasado, sufrieron una selección enfocada en la cantidad y la adaptación a la espaldera mecanizada, más que en la calidad y la resiliencia. Por ejemplo, los clones de palomino que se encuentran en Swartland o en Tenerife son probablemente mucho más

interesantes para producir Jerez de calidad que el clon Davis, que ocupa casi todo el territorio del Marco de Jerez. Igual ocurre con muchas viejas cepas que se encuentran curiosamente en el Nuevo Mundo y para las que un programa de recuperación y selección de clones, según criterios cualitativos y de adaptación al ambiente, sería muy conveniente.

Finalmente, es probable que la nueva geografía del vino presente nuevas variedades plantadas internacionalmente, debido a sus positivas capacidades de adaptación. Garnacha, Aglianico, Albariño, Primitivo, *Chenin Blanc*, Graciano y algunas otras variedades pueden ser mucho más populares en los años próximos.

5. Conclusiones

La vid es un cultivo permanente, que requiere una inversión importante para ser establecido y con tiempos de recuperación largos. Como tal, es muy sensible a los efectos de incertidumbre que genera el cambio climático. Mientras que las temperaturas medias y la insolación presentan efectos sobre la definición organoléptica del vino, que en gran medida pueden ser compensados en bodega, la disponibilidad de agua se presenta como el problema de mayor relevancia en el estado actual.

Frente a ello se aplican una serie de estrategias en las diferentes regiones del mundo, todas ellas con la característica común de que sirven para poder continuar la actividad vitícola con menos agua y precipitaciones más irregulares, en proporciones relativamente modestas. No hay estrategia que pueda con cambios permanentes de cierta magnitud, para los que no queda más que el abandono.

La viticultura presente está constituida sobre los principios de asumir abundancia de insumos y carestía del trabajo. Con el cambio climático y los avances en inteligencia artificial parece lógico esperar que la nueva viticultura se construya sobre las bases de austeridad y máxima eficiencia en el uso de insumos, en particular el agua, y trabajo casi ilimitado, puesto que el coste marginal del trabajo robótico tiende a cero.

Antes de que se produzca ese cambio de paradigma, los viñedos para vinos de pasto y destilación plantados en su mayor parte en zonas cálidas, sobre la hipótesis de que el coste marginal de los insumos era muy bajo, presentan una problemática de difícil solución. Si las carencias ya crónicas de agua que

se registran en las regiones más importantes se intensifican, no parece haber alternativa al abandono. Pero no consta que otras regiones de alto potencial vitícola en el mundo reúnan las condiciones físicas y sociales para reemplazar a las regiones clásicas. Una consecuencia posible de tal problema sería una gran alteración de los mercados, por subidas de costes que vayan más allá de la elasticidad de la demanda.

Para los vinos finos, los ingresos esperados permiten diseñar otras estrategias y aparecen un buen número de nuevas zonas vitícolas, cada una de ellas buscando señas de identidad propias. Este movimiento tendrá bastante repercusión, en términos de comunicación, pero es altamente improbable que sirva para resolver el problema de abastecimiento de vino corriente en los mercados.

No queda alternativa a asumir lo obvio. Nuestro pasado tuvo lugar en un clima diferente; nuestro futuro tendrá que desarrollarse sobre la base de lo que tenemos, no de lo que tuvimos. El peso de la tradición será probablemente mucho menos importante que hasta ahora, mientras que los esfuerzos en investigación y desarrollo se multiplicarán. La I+D cubrirá todos los aspectos de la producción vitivinícola –desarrollo de nuevas variedades y clones, sistemas de cultivo y de defensa de la viña, parámetros de vendimia, mecanización inteligente de la viña, técnicas de vinificación y crianza adaptadas, etc–.

La mejor recomendación que puedo hacer es prepararse a lo nuevo e inexplorado, cambiando la actitud mental hacia la apertura; destinando medios, voluntades y esfuerzos a investigar, asumiendo áreas y estrategias en común, que el problema es de todos y las soluciones no pueden ser individuales. Y exigir a la Administración que acompañe esta ingente tarea con recursos públicos. El abandono a la investigación que ha ocurrido en España es fuente segura de miserias en el futuro. Tenemos el mayor viñedo del mundo y probablemente el más amenazado por el cambio climático. Tenemos una responsabilidad histórica para afrontar nuestro destino como país de vino y dicha responsabilidad pasa por la curiosidad y el amor, las motivaciones más importantes para la ciencia y la innovación.

La viticultura mediterránea en España frente al cambio climático

Raúl Compés López y Francesc J. Cervera Ferrer

Universitat Politècnica de València

Resumen/Abstract

La historia del vino se caracteriza por la expansión y el desplazamiento del cultivo de la vid en el espacio y en el tiempo. Desde sus orígenes, el Mediterráneo ha ocupado un lugar central en el mundo del vino. Sin embargo, en las últimas décadas, los países mediterráneos han perdido peso y centralidad ante el auge de nuevos territorios productores y consumidores. El cambio climático puede acentuar esta tendencia en las próximas décadas. En el caso de España, uno de los países más vulnerables, las regiones mediterráneas se encuentran en una posición especialmente sensible. Este capítulo examina los cambios en la geografía económica del vino en España, en particular en esas regiones. Los resultados demuestran que, aunque son heterogéneas, han perdido peso en el conjunto del sector vitivinícola español y que las condiciones ambientales y económicas son peores, en particular en Valencia y Murcia. Esto supone que el mediterráneo vitivinícola español se enfrenta al cambio climático desde una posición de debilidad estructural, ambiental y económica.

.....

The history of wine is characterized by the expansion and displacement of the cultivation of the vineyard in space and in time. From its origins, the Mediterranean has occupied a central place in the world of wine. However, in recent decades, the Mediterranean countries have lost weight and centrality in the face of the rise of new producer and consumer countries. Climate change may accentuate this trend in the coming decades. In the case of Spain, one of the most vulnerable countries, the Mediterranean regions are in a particularly sensitive position. This chapter examines the changes in the economic geography of wine in Spain, particularly in these regions. The results show that, although they are heterogeneous, have lost weight in the whole of the Spanish wine sector, and that the environmen-

tal and economic conditions are worse, in particular in the provinces of Valencia and Murcia. This means that the Spanish viticultural Mediterranean faces climate change from a position of structural, environmental and economic weakness.

1. Introducción

El famoso «Juicio de París» de 1976 marcó el inicio de una nueva etapa en la larga historia del vino. El desarrollo de la industria vitivinícola fuera de Europa fue tan intenso a partir de este momento que provocó la aparición de las expresiones «viejo mundo» y «nuevo mundo». Con ellas se pretendía diferenciar la producción europea, que venía siendo mayoritaria desde hacía siglos, de la del resto de países. Más allá de su rigor o pertinencia actual, lo interesante de la dicotomía «viejo» *versus* «nuevo» mundo es que resalta la condición cambiante de la geografía del vino.

En el caso de España, la vid lleva cultivándose en nuestras tierras durante más de tres mil años pero, desde que llegó a nuestras costas, su geografía física y económica no ha dejado de modificarse. Entró en la península ibérica de la mano de los navegantes fenicios (Martín, 2007) por tierras del Guadiana, Cádiz y las costas del sur y del sureste (Prados Martínez, 2011), y esto ocurrió casi dos milenios después de haber llegado a las tierras del actual Oriente Medio.

Desde entonces, su expansión ha estado marcada por hitos como la colonización griega de algunos enclaves de la costa, la conquista de la Hispania romana –entre el desembarco en Ampurias (218 a. C.) y el fin de las guerras cántabras (19 a. C.)–, la invasión árabe (711), la reconquista, el desarrollo del Camino de Santiago en el medievo –cuya relación con la vid y el vino queda reflejada en el Códice Calixtino–, la conquista de América (1492), la entrada de la filoxera a finales del XIX y la adhesión de España a la actual Unión Europea en 1986. En este proceso han influido factores ambientales, económicos, culturales y sanitarios.

Este capítulo se centra en la transformación de la geografía del vino en España desde 1986. Se trata de la última etapa de su historia y se corresponde con un período de intensa modernización, con el fin de adaptarse a la UE e integrarse en los mercados internacionales. En particular se presta especial atención a la evolución de las áreas mediterráneas, entendidas tanto en el aspecto climático –atendiendo a la clasificación de Köppen-Geiger– como en el geográfico –provincias bañadas por el *Mare Nostrum*–. Algunas de estas tierras pioneras en el cultivo de la vid son hoy las más amenazadas por el fenómeno

del cambio climático, que ya es perceptible y que, previsiblemente, se va a acentuar en los próximos decenios¹ (Olcina, 2009; Gil, 2009; Moreno, 2008 y AEMA, 2016).

El objetivo del capítulo es determinar si la dinámica de las zonas mediterráneas es diferente de la del resto del sector vitivinícola español. Para ello se examina el comportamiento de la superficie, la producción y las exportaciones de cada una de las principales áreas que lo componen. Con ello se puede establecer si se enfrentan a este reto desde una posición de fortaleza o de debilidad. Adicionalmente, se realiza un análisis de la evolución de los principales parámetros ambientales y económicos que pueden estar relacionados con ellos. De esta manera, el enfoque metodológico del capítulo adopta la forma de una investigación exploratoria sobre la situación relativa del mediterráneo vitícola español en este nuevo entorno.

Las variaciones climatológicas observadas en las últimas décadas (Miró *et al.*, 2016 y Miró *et al.*, 2018) son un indicio de lo que puede ocurrir en el futuro, donde es muy probable que las condiciones del cultivo de la vid en el Mediterráneo sean especialmente adversas en el medio y largo plazo. El desplazamiento de la geografía económica de la vid hacia zonas más altas y septentrionales es ya un hecho, y esta tendencia podría acentuarse en los próximos años.

2. Geografía y clima de los territorios vitícolas españoles

La geografía histórica de la vid a lo largo del tiempo ha sido muy dinámica, con el resultado de una expansión en unos territorios y un retroceso en otros. Su origen se sitúa en la actual Georgia, en los montes del Cáucaso, en el VI milenio a. C. (Johnson, 1971 y 2002; McGovern, 2013 y Pan-Montojo, 2009). Desde estas montañas, el cultivo se extendió hacia el sur, hasta Fenicia y Egipto. Desde allí, siguiendo una trayectoria de este a oeste, pasó a Grecia y a Roma. Estas grandes potencias del Mediterráneo antiguo llevaron el vino al norte de África, al Mediterráneo occidental y a una parte de la Europa central y septentrional. En la Edad Moderna, los conquistadores europeos introdujeron la vid en sus colonias de América, África y Asia (Segarra, 2012). En todo este periplo, el mar Mediterráneo ha permanecido en el centro del sistema vitivinícola mundial dadas sus condiciones ambientales, especialmente idóneas.

¹ Según los pronósticos, el sur y sudeste de Europa son puntos críticos del cambio climático.

Su clima ha hecho que la viticultura, allá donde se practique, sea considerada una actividad mediterránea (Carré, 1987; Torres, 1996 y Aranegui, 1999).

España es el país con mayor superficie de viñedo del mundo y son muchos los lugares que conservan restos arqueológicos y culturales que acreditan la antigüedad del cultivo. La actividad vitivinícola llegó a la península ibérica de la mano de los fenicios (aprox. 1.100 a. C.)². Después, avanzó con la colonización griega, que inició su creación de ciudades en la costa mediterránea española con la fundación de Emporion en el 757 a. C. Posteriormente, los romanos extendieron el cultivo de la vid por casi toda la península a lo largo de los más de cinco siglos que duró su dominio (Celestino y Blánquez, 2007 y Piqueras, 2014). Y más tarde, España llevó la vid al «nuevo mundo vitivinícola» a partir de 1492, iniciando otro capítulo de la historia del vino³.

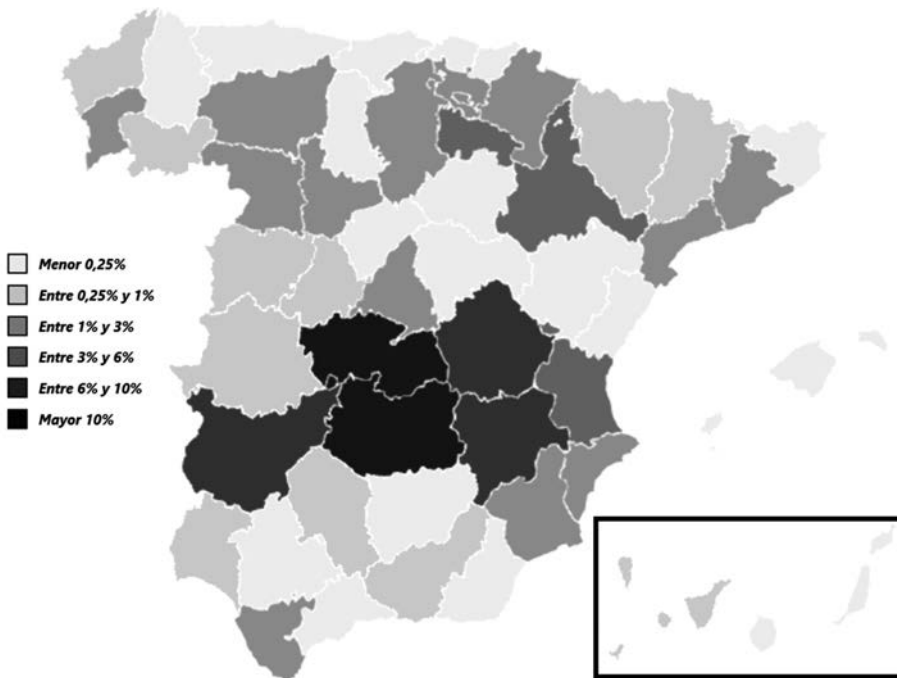
En la actualidad, se produce uva para vinificación en todas las provincias españolas, aunque esta actividad se concentra geográficamente en algunos grandes espacios territoriales (Figura 1):

1. El espacio más importante corresponde a una franja horizontal, que se extiende de este a oeste y cuyas coordenadas son de 37,4° N a 40,6° N y de 7,3° O a 0,21° E. A este grupo pertenecen las provincias de Alicante (1,2 % de la superficie total española), Valencia (5 %), Murcia (2,6 %), Cuenca (10 %), Albacete (9 %), Toledo (12 %), Ciudad Real (17 %), Cáceres (0,4 %) y Badajoz (8 %), y que en conjunto suman el 65,4 % del viñedo español.
2. El siguiente espacio es otra franja, que también se extiende de este a oeste, pero situada al norte de la anterior, formada por provincias localizadas en las riberas de los ríos Ebro y Duero: Tarragona (3 %), Zaragoza (3 %), La Rioja (5 %), Álava (1,5 %), Burgos (2 %), Valladolid (2,5 %) y Zamora (1,3 %), y que en conjunto suponen el 18 % de la superficie total de viñedo.
3. El tercer espacio es el más disperso y numeroso (35 provincias), pero su peso total es escaso, ya que no llega al 3 %; y el de las 18 más pequeñas no llega al 0,25 % de la superficie total.

² El lagar más antiguo del que se tiene referencia se sitúa en la colonia fenicia del Castillo de Doña Blanca, cerca de Cádiz (siglo VIII a. C.).

³ A modo de ejemplo, el padre misionero franciscano Junípero Serra plantó el primer viñedo de California en la Misión San Diego de Alcalá en 1769; el sacerdote mercedario Juan Cidrón hizo lo propio en Santiago del Estero, Argentina, en 1554; y en Chile las primeras viñas se plantaron en la ciudad de La Serena en ese mismo siglo XVI.

Figura 1. Distribución territorial del viñedo para vinificación en España (peso del viñedo de cada provincia en el total nacional) (2015)

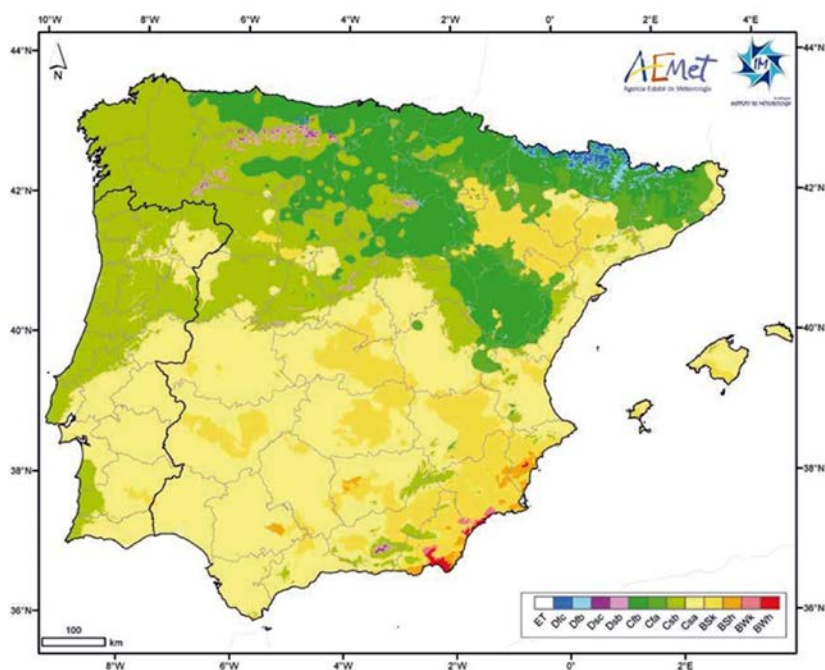


Fuente: *Anuario Estadística (MAPAMA)*. Elaboración propia.

Siguiendo la clasificación climática de Köppen-Geiger para la península ibérica (Figura 2), utilizada por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2016) y el Instituto de Meteorología de Portugal (2011), los dos grandes espacios del viñedo español señalados anteriormente tienen características climáticas distintas⁴. El de mayor superficie, que va de Valencia a Badajoz, es climatológicamente más homogéneo y contiene los climas Csa (mediterráneo, con verano seco y caluroso) y Bsk (semiárido frío), con algún enclave BSh (semiárido cálido). Por el contrario, el más septentrional es más heterogéneo, ya que además de los anteriores contiene los climas Cfa (clima subtropical húmedo), Cfb (oceánico, con verano suave) y Csb (oceánico mediterráneo con verano suave). En suma, la franja vitícola de mayor tamaño se asocia claramente al clima mediterráneo.

⁴ Según esta clasificación, para el conjunto de España aparecen los climas de tipo B (secos), C (templados) y D (fríos).

Figura 2. Clasificación climática de Köppen-Geiger en la península ibérica e Islas Baleares



Fuente: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, 2016) y el Instituto de Meteorología de Portugal (2011).

3. Cambios en la geografía económica del vino en España

El viñedo español ha sufrido una profunda transformación geográfica en las tres últimas décadas, aunque no con la misma intensidad y sentido en todos sus territorios. El nivel más adecuado para medir los patrones de evolución de la superficie de viña en España es el provincial. Analizando su variación entre los promedios 1986-88 y 2013-2015 se comprueba que se ha producido una caída de la superficie en 39 provincias (Figura 3B) y un aumento en 11 (Figura 3A). De estas últimas, excepto Almería, todas las demás se encuentran en la mitad norte de la península y, salvo las dos provincias atlánticas de Galicia, el resto se sitúan en la parte central del norte español.

**Figura 3. Variación de la superficie dedicada al viñedo para vinificación en España.
Promedio años 1986-1987-1988 frente a 2013-2014-2015**

Figura 3A. Provincias donde ha crecido la superficie de viñedo

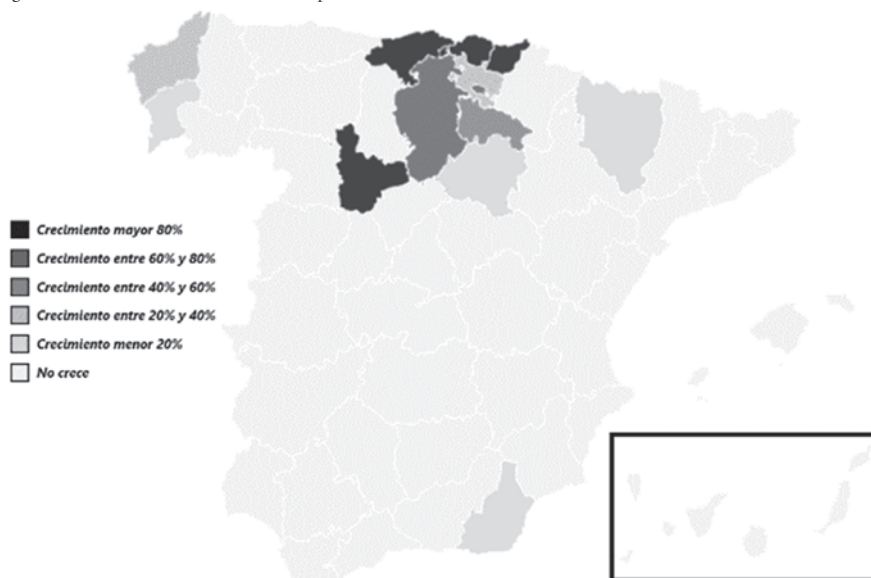
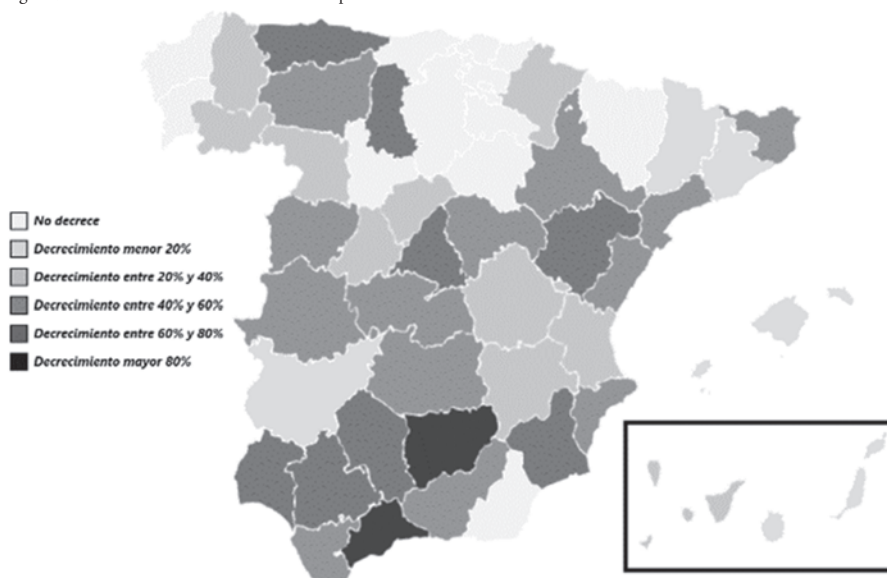


Figura 3B. Provincias donde ha decrecido la superficie de viñedo



Fuente: *Anuario Estadística* (MAPAMA). Elaboración propia.

Es evidente, por tanto, que esta reestructuración no ha afectado por igual a los dos grandes espacios de viñedo en España. En lo que se refiere al más extenso, que comprende las provincias situadas en la franja Valencia-Badajoz, situadas más al sur y cuyo clima es en general caluroso y seco, se ha producido un retroceso generalizado. Todas ellas han perdido superficie de viñedo, pasando del 67 % en 1986 al 65,4 % en 2015⁵ en el total nacional.

Por el contrario, en las provincias situadas en la franja septentrional, donde la diversidad climática es mayor y existen áreas con climas más frescos y húmedos, tres provincias han perdido superficie (Tarragona, Zaragoza y Zamora), pero cuatro la han aumentado (La Rioja, Álava, Burgos y Valladolid), y, en conjunto, este espacio ha incrementado su peso en el total nacional, pasando del 14,4 % en 1986 al 18 % en 2015⁶.

En el tercer espacio, el más pequeño y disperso, es donde más provincias han ganado superficie (Soria, La Coruña, Pontevedra, Cantabria, Vizcaya, Guipúzcoa y Soria), aunque en conjunto han perdido peso en el total nacional.

En los tres espacios, los cambios relativos son reducidos pero existen indicios razonables de constituir tendencia⁷.

La destrucción de viñedo de uva destinada a vinificación ha sido muy intensa en España, sin que este proceso haya podido ser compensado por un aumento de la superficie, debido a las restricciones al crecimiento del potencial vitícola de la política comunitaria vigentes hasta el 31 de diciembre de 2015⁸. Entre 1986 y 2015 se han eliminado más de 530.000 hectáreas, lo que supone una caída del 36 % –algo más de un 1 % anual–⁹, con un reparto muy desigual. Se trata de cambios bruscos en la superficie de viñedo que han modificado significativamente la geografía del sector.

La asociación entre estos distintos patrones de evolución de la superficie y las condiciones ambientales es muy compleja, y su análisis va más allá del al-

⁵ Alicante (-59 %), Valencia (-39 %), Murcia (-67 %), Cuenca (-28,5 %), Albacete (-31 %), Ciudad Real (-41 %), Toledo (-46 %), Badajoz (-5 %) y Cáceres (-51 %). Entre todas suman una caída de más de 380.000 hectáreas.

⁶ Por un lado están Tarragona (-48 %) y Zaragoza (-58 %) León (-42 %) y Zamora (-23 %) y, por otro, La Rioja (40 %) y Álava (39 %), (77 %) y Valladolid (109 %).

⁷ Por un lado se han producido reducciones de la superficie en las provincias andaluzas –Málaga (-84 %), Granada (-52 %), Jaén (-82 %), Córdoba (-64 %), Sevilla (-61 %), Huelva (-77,5 %)–, del centro –Madrid (-62 %), Guadalajara (-60 %) y Teruel (-79,5 %)– y Asturias (-75 %). Por otro lado, se han producido aumentos en las provincias de Guipúzcoa (+1.784 %), Vizcaya (+1.017 %), Cantabria (+226 %), La Coruña (+33 %), Pontevedra (+9 %), Huesca (+5 %), Soria (+2,6 %) y Almería (+1,7 %), única provincia meridional que crece.

⁸ Desde el 1 de enero de 2016 existe un nuevo sistema de gestión del potencial vitícola basado en autorizaciones administrativas a nuevas plantaciones que flexibiliza parcialmente el régimen anterior; al permitir que cada Estado miembro autorice cada año hasta un 1 % de su superficie de viñedo para nuevas plantaciones.

⁹ Del total de superficie de viñedo eliminada los mayores porcentajes se localizan en Ciudad Real (19 %) y Toledo (17 %) –con más de 200.000 hectáreas entre las dos–, seguidas de Murcia (9 %), Zaragoza (7 %), Albacete (7 %), Cuenca (6 %) y Valencia (6 %), con una pérdida conjunta entre ellas de casi otras 200.000 hectáreas.

cance de este estudio. De hecho influyen también factores tecnológicos, como la implantación del regadío, y económicos, como la rentabilidad del cultivo, tal y como muestran algunos hechos¹⁰:

- En algunas de las provincias donde mayores caídas se han producido, como es el caso de Murcia y Zaragoza, abundan áreas de clima seco tipo Bsk. Sin embargo, en Albacete, que también pertenece a este clima, la bajada ha sido moderada, habiendo ganado peso en el conjunto de la superficie de viñedo.
- Las provincias de clima templado tipo Csa, de verano seco y caluroso, también han visto reducir su superficie de viñedo, aunque con una menor intensidad que las de clima Bsk –es el caso de Valencia, Ciudad Real y Toledo–. Sin embargo, una provincia como Valladolid, también con ese tipo de clima, ha experimentado el cambio en sentido opuesto.
- Las provincias ganadoras, tanto en superficie absoluta como en peso relativo, se localizan en climas Cfb (La Rioja, Álava y Burgos).

4. El comportamiento del viñedo en las zonas mediterráneas

En el apartado anterior se ha analizado la tendencia de la superficie de viñedo de cada provincia teniendo en cuenta su ubicación en uno de los tres grandes espacios vitícolas españoles. En este apartado se adopta un enfoque diferente de la mediterraneidad, que consiste en analizar el comportamiento de las provincias mediterráneas españolas, es decir, aquellas bañadas por el mar Mediterráneo. Se trata ahora de un enfoque en clave espacial –y no climática– aunque los solapamientos entre ambos son evidentes. Con ello se trata de determinar si hay una dinámica común en las provincias mediterráneas españolas y si esta es distinta a la del resto.

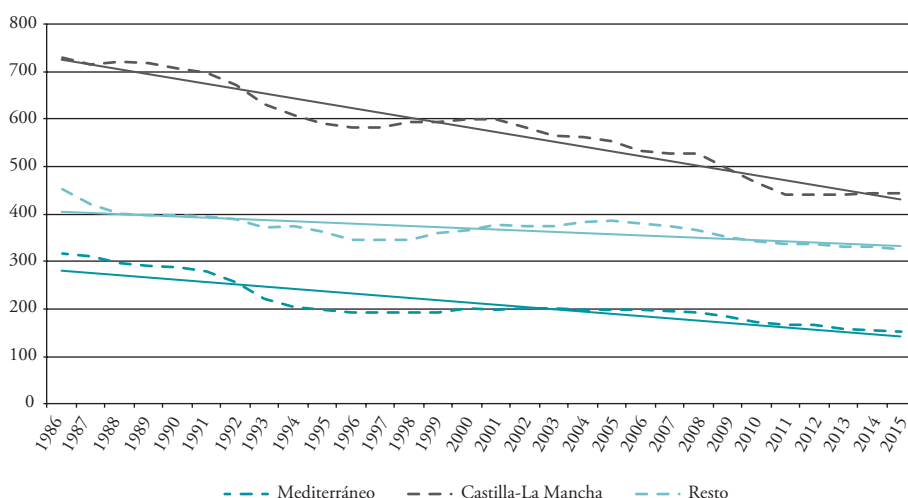
Para ello se agrupan en tres grandes conjuntos: a) las bañadas por el mar Mediterráneo, b) las de Castilla-La Mancha –dado el gran peso de esta región en el conjunto de España– y c) las del resto del país. Los resultados muestran que, en primer lugar, los tres grupos han perdido superficie en términos absolutos; en segundo lugar, que el mediterráneo es el espacio territorial más

¹⁰ Es evidente que dentro de un mismo clima coexisten distintos microclimas que responden a parámetros locales que no son captados a este nivel de análisis.

pequeño y, en tercer lugar, que en el período analizado este grupo ha tenido un comportamiento mejor que el de Castilla-La Mancha pero peor que el del tercero –el resto de España menos Castilla-La Mancha (Gráfico 1)–. Se trata de unos resultados consistentes con los obtenidos en el Apartado anterior, en los que se apreciaba que la España vitícola de clima mayormente mediterráneo era aquella cuyo viñedo había tenido el peor comportamiento.

Estos resultados no se pueden extrapolar a la producción, ya que los rendimientos del viñedo han evolucionado de distinta forma en cada uno de los tres grupos de provincias. Así, aunque con la variabilidad típica de la producción española, Castilla-La Mancha es, en valores absolutos, el que crece con mayor intensidad. A continuación, el formado por el resto de provincias españolas también muestra una tendencia positiva, aunque más moderada que el anterior. Finalmente, el grupo mediterráneo es el único que muestra una tendencia decreciente (Gráfico 2). Esto significa que, en términos relativos, este último pierde peso en el conjunto de la producción española. Es interesante constatar el incremento de la producción que se produce a partir de 1994, una vez eliminada la restricción de regar el viñedo.

Gráfico 1. Evolución de la superficie de viñedo para vinificación del conjunto de las provincias del Mediterráneo frente a Castilla-La Mancha y al resto, y líneas de tendencia (1986 a 2015). En miles de hectáreas



Fuente: *Anuario Estadística* (MAPAMA, varios años). Elaboración propia.

Gráfico 2. Evolución de la producción de uva para vinificación de las provincias españolas bañadas por el mar Mediterráneo frente a Castilla-La Mancha y al resto, y línea de tendencia (1986 a 2015). En toneladas

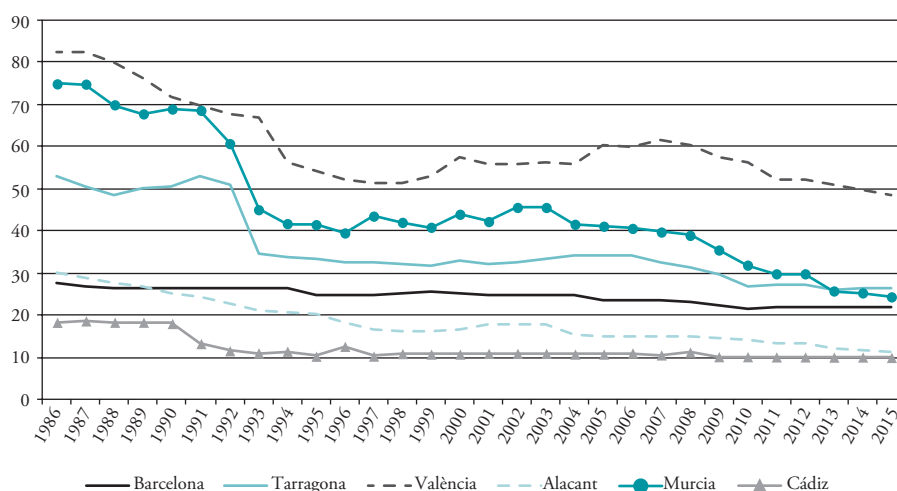


Fuente: *Anuario Estadística* (MAPAMA, varios años). Elaboración propia.

En el Apartado 2 se ha comprobado que existen provincias bañadas por el mar Mediterráneo en los dos grandes espacios que componen el viñedo español. Se trata de analizar ahora si hay diferencias significativas entre ellas, en lo que se refiere a la evolución de sus respectivas superficies de viñedo. Para ello se toman las más grandes, es decir, aquellas que tienen un peso superior al 1 % en el total nacional: Barcelona, Tarragona, Valencia, Alicante, Murcia y Cádiz. Los resultados muestran que la tendencia es decreciente en todas, especialmente en Murcia, Valencia y Tarragona (Gráfico 3).

Como conclusión, tanto el Mediterráneo vitícola español como los territorios de clima mediterráneo, que incluyen provincias no bañadas por este mar, han retrocedido en el conjunto del sector.

Gráfico 3. Evolución de la superficie de viñedo para vinificación de las principales provincias vitícolas del Mediterráneo (1986 a 2015). En miles de hectáreas



Fuente: *Anuario Estadística* (MAPAMA, varios años). Elaboración propia.

5. Factores ambientales en las zonas mediterráneas

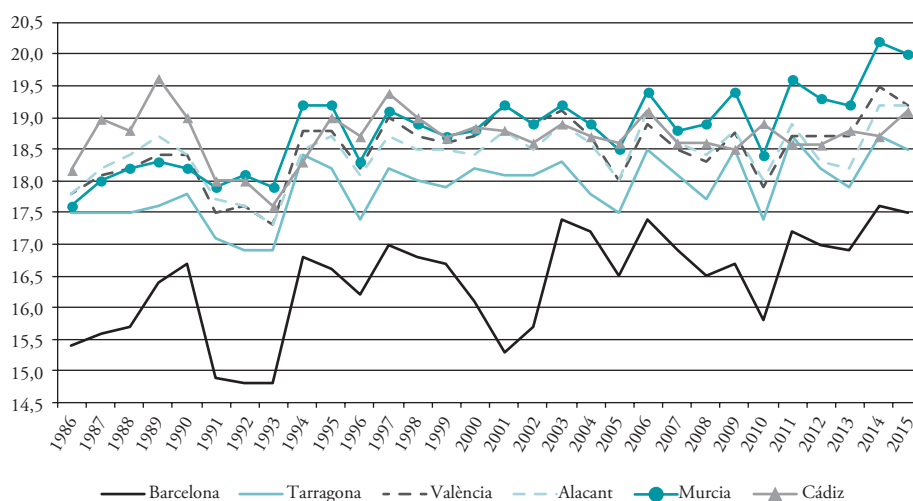
Los factores ambientales son, en general, los principales determinantes de la cantidad y la calidad de la uva. En el Apartado 2 se ha mostrado que la mayor parte de la producción de uva en España se cultiva en regiones de clima Bsa y Csk, con algunas pequeñas excepciones. En las últimas décadas, las temperaturas y las precipitaciones han cambiado de forma significativa en las zonas mediterráneas (Miró *et al.* 2016 y Miró *et al.* 2018). En este apartado se examina la evolución de estos parámetros en las principales provincias vitícolas mediterráneas –Barcelona, Tarragona, Valencia, Alicante, Murcia y Cádiz–¹¹.

¹¹ Existen diversos estudios que analizan los cambios ocurridos en las últimas décadas (De Castro *et al.*, 2005), siguiendo con la clasificación climática de Köppen. Utilizando la Guía Resumida del Clima de España elaborado por AEMET, con datos de 86 estaciones de su red principal se han comparado las cartografías estatales para tres períodos de referencia distintos (1961-1990, 1971-2000 y 1981-2010). Los resultados muestran, entre otros, un incremento del área considerada como estepa cálida (*Bsh*) en el sureste peninsular, y un incremento de la estepa fría (*Bsk*) en Castilla-La Mancha y en el Valle del Ebro a costa de una disminución importante del *Cfa*; <http://www.meteoillesbalears.com/?p=272>.

En primer lugar, en lo que se refiere a las temperaturas medias anuales (Gráfico 4) destacan dos observaciones. Por un lado, las tendencias son crecientes en todas ellas, aunque en algunos casos el aumento es especialmente intenso, como ocurre en Barcelona y Murcia. Por otro, existen diferencias significativas entre unas provincias y otras: entre las más cálidas –Almería y Murcia (aproximadamente 20 °C en 2015)– y la más fresca –Gerona (16 °C)– la diferencia es de casi 4 °C.

En segundo lugar, si se examina la evolución de las precipitaciones medias anuales, se observa una alta variabilidad en todas las provincias y la existencia de dos tendencias. Por un lado, decreciente en Barcelona, Valencia, Alicante y Murcia y, por otro, creciente en Tarragona y Cádiz¹² (Gráfico 5). Esto significa que en materia de precipitaciones no existen pautas comunes en toda la región.

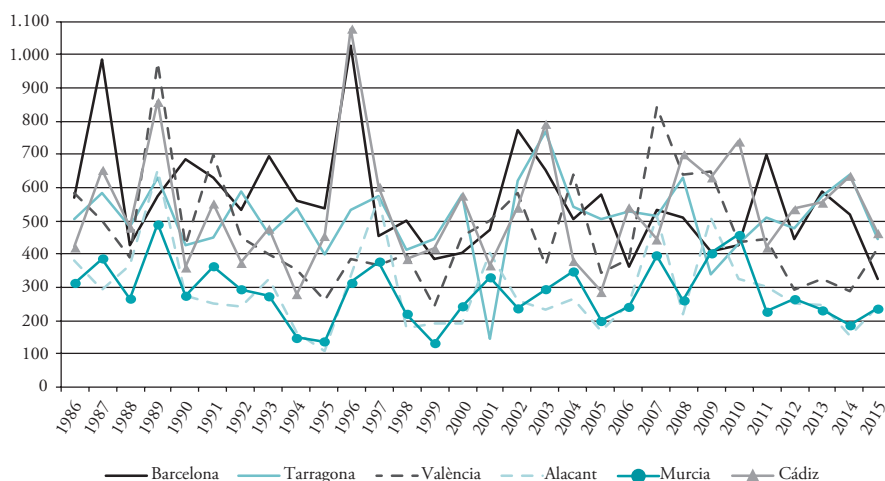
Gráfico 4. Evolución de la temperatura media anual de las principales provincias vitícolas bañadas por el mar Mediterráneo (1986 a 2015). En °C



Fuente: AEMET (2016). Elaboración propia.

¹² La situación es similar entre las provincias vitícolas menores, con una tendencia decreciente de las precipitaciones en Gerona, Castellón, Almería y Málaga y creciente en Granada y Baleares.

Gráfico 5. Evolución de las precipitaciones anuales de las principales provincias vitícolas bañadas por el mar Mediterráneo (1986 a 2015). En mm



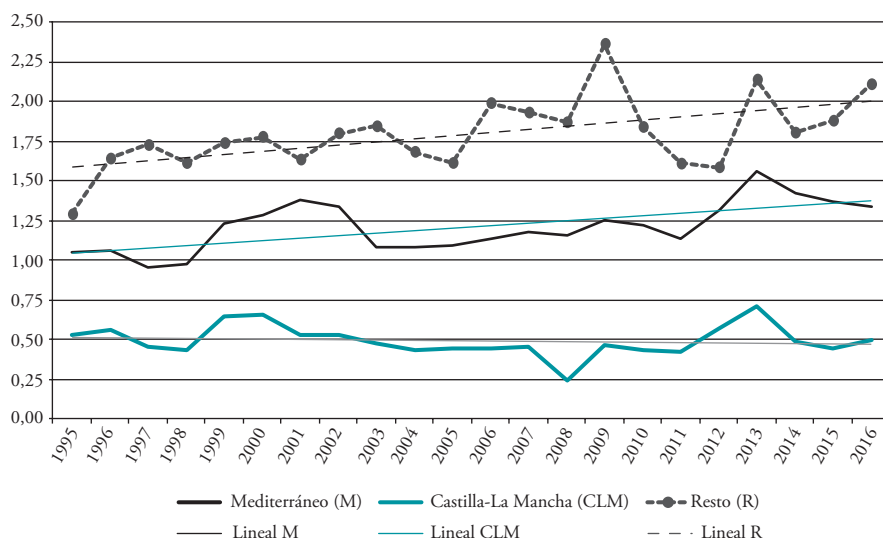
Fuente: AEMET (2016). Elaboración propia.

6. Los factores económicos

Para concluir el estudio de la situación de los territorios vitícolas mediterráneos españoles frente al resto, en este apartado se analiza el comportamiento de sus precios —en concreto, el precio medio de exportación— como indicador *proxy* de su modelo económico y productivo. Se trata de explorar si existe alguna asociación entre el retroceso relativo del viñedo en el Mediterráneo con la situación y evolución de los precios.

En primer lugar, se efectúa la comparación entre los precios medios de exportación de los vinos tranquilos de los tres grandes grupos de provincias, definidos en el apartado 4. El resultado es que los precios medios del grupo mediterráneo se encuentran en una posición intermedia —en particular en lo que va de siglo XXI—, por debajo de los del resto de España (menos Castilla-La Mancha) y por encima de los de esta región. Adicionalmente, se aprecia una diferencia en cuanto a su evolución, situándose de nuevo el grupo mediterráneo en una posición intermedia, con una tendencia ligeramente creciente. Es un comportamiento mejor que el de Castilla-La Mancha pero peor que el del resto de España (sin esta última región) (Gráfico 6).

Gráfico 6. Evolución del precio medio de exportación del vino tranquilo de las provincias españolas bañadas por el mar Mediterráneo frente a Castilla-La Mancha y el resto, con líneas de tendencia (1995 a 2016). En euros/l

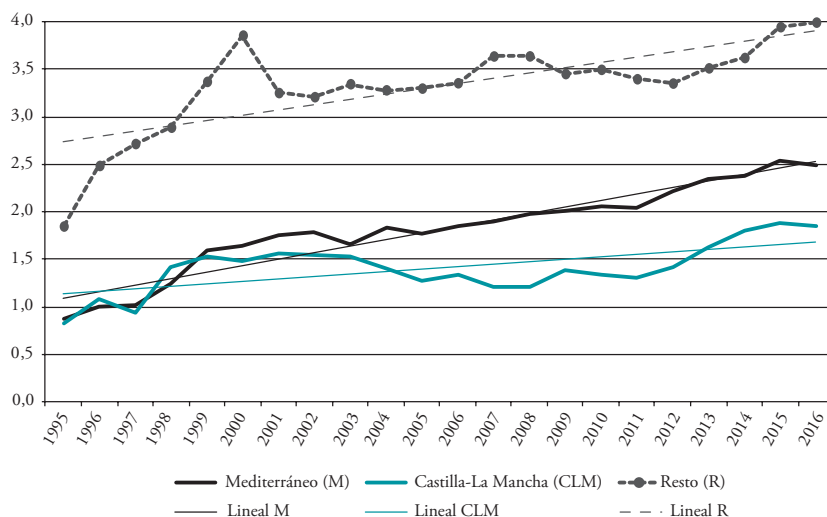


Fuente: DATACOMEX. Elaboración propia.

La situación es similar si se compara el precio medio de exportación de los vinos con denominación de origen. De nuevo, la agrupación provincial mediterránea se sitúa en una posición intermedia, por encima de Castilla-La Mancha y por debajo del resto de provincias, menos esta comunidad autónoma. Sin embargo, su evolución es la más positiva (Gráfico 7).

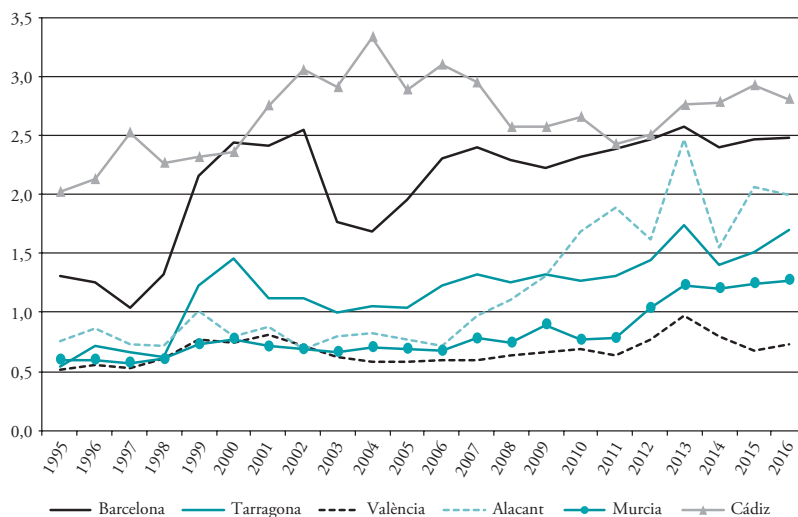
Por último, si se comparan los precios medios de exportación de las principales provincias mediterráneas, se comprueba que existen grandes diferencias entre ellas. Teniendo en cuenta solo las más grandes, los precios de Barcelona y Cádiz son los más altos, y los de Murcia y Valencia los más bajos. En cuanto a su evolución, los precios crecen en todas, aunque lo hacen de forma muy irregular y con diferentes intensidades en cuanto a su tendencia (Gráfico 8).

Gráfico 7. Evolución del precio medio de exportación del vino tranquilo con DO de las provincias españolas bañadas por el mar Mediterráneo frente a Castilla-La Mancha y el resto, con líneas de tendencia (1995 a 2016). En euros/l



Fuente: DATACOMEX. Elaboración propia.

Gráfico 8. Evolución del precio medio de exportación del vino tranquilo de las principales provincias españolas bañadas por el mar Mediterráneo (1995 a 2016) En euros/l



Fuente: DATACOMEX. Elaboración propia.

5. Conclusiones

El sector vitivinícola español es muy heterogéneo y en él coexisten modelos productivos con características muy diferenciadas. Este capítulo desarrolla una investigación exploratoria de la dinámica del viñedo de los territorios mediterráneos, a priori los más vulnerables frente al cambio climático. Los resultados muestran que en las tres últimas décadas han perdido peso en el conjunto del sector español –tanto en superficie como en producción–, cuyo centro de gravedad se está desplazando lentamente hacia el norte. Dicho esto, el Mediterráneo no es una región homogénea y las zonas del sureste –en especial Valencia y Murcia– muestran una fragilidad económica y ambiental más acusada.

Si bien hay que investigar en detalle las causas de estos cambios, este capítulo demuestra que existe una relación entre las variaciones en la superficie de cultivo y los factores ambientales y económicos. Es sintomático que el retroceso de las zonas mediterráneas esté asociado a condiciones de temperatura y precipitaciones cada vez más restrictivas y a precios más bajos. Menores rentabilidades y dificultades cada vez mayores para producir uvas con la necesaria cantidad y calidad están afectando negativamente a estas zonas¹³.

Para valorar estos resultados en su justo término, hay que tener en cuenta que estos cambios se han producido en el marco de un régimen que ha regulado hasta el 31 de diciembre de 2015 el potencia vitícola en la UE, dificultando los procesos de reestructuración al limitar las nuevas plantaciones. Esta situación lleva a pensar que en un marco normativo más flexible, la pérdida de peso del mediterráneo vitivinícola español hubiera sido más intensa.

Para finalizar, España es el país con mayor superficie de viñedo del mundo, la uva se cultiva en todas las provincias y en muchos lugares quedan testimonios que acreditan la antigüedad del cultivo. Sin embargo, la historia demuestra que la geografía física y económica de la actividad vitivinícola es muy dinámica. Si bien lo ocurrido en el período 1985-2015 no es completamente extrapolable al futuro, hay motivos para pensar que la pérdida de peso de la viticultura mediterránea puede ser parte de un proceso estructural de largo plazo, lo que resulta especialmente dramático en algunas zonas que ya han perdido mucho viñedo.

El cambio climático en el Mediterráneo se presenta más como una amenaza que como una oportunidad, salvo en aquellas áreas que por altitud, oro-

¹³ Evidentemente hay otros factores macroeconómicos y políticos que pueden estar también detrás de estos cambios, pero quedan fuera de nuestro análisis.

grafía o microclima tienen mejores aptitudes ambientales. Es triste imaginarlo, pero los mayores peligros se ciernen sobre algunas de las zonas donde se plantaron las primeras viñas de la península ibérica. Es necesario actuar con decisión para hacer frente a esta amenaza.

Referencias bibliográficas

- AEMET (2016): *Cambio climático, impactos y vulnerabilidad*. EU.
- ARANEGUI, C. (1999): «El comercio del vino en la costa mediterránea española en época romana»; En «Actas del Simposio Arqueología del vino 'El vino en la antigüedad romana' (Jerez, 1996)»; *Serie Varia* (4); pp. 79-96.
- CARRÉ, A. (1987): «Wine and Maritime History»; *The Mariner's Mirror* 73(1); pp. 21-31.
- CELESTINO PÉREZ, S. y BLÁNQUEZ PÉREZ, J. (2007): «Origen y desarrollo del cultivo del vino en el mediterráneo: la península ibérica»; En *Universum (Talca)* 22(1); pp. 32-60.
- COMPÉS, R. y CERVERA, F. (2018): *Terroir and intensification in the Spanish wine-growing territories*. Zaragoza, XII Congreso Internacional Terroir.
- DE CASTRO, M.; MARTÍN-VIDE, J. y ALONSO, S. (2005): «El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI»; *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*; pp. 1-64.
- GIL OLCINA, A. (2009): «Clima e hipótesis de cambio climático en la región geográfica del sureste ibérico»; *Investigaciones Geográficas (Esp)* (49).
- JOHNSON, H. (1971): *L'atlas mondial du vin*. Le Club Français du livre.
- JOHNSON, H. (2002): *Une histoire mondiale du vin de l'antiquité à nos jours*. Hachette Pratique.
- MARTÍN, J. (2007): *Pasión por el vino*. Los libros del lince.
- MCGOVERN, P. E. (2013): *Ancient wine: the search for the origins of viniculture*. Princeton University Press.
- MIRÓ, J. J.; ESTRELA, M. J.; CASELLES, V. y OLCINA-CANTOS, J. (2016): «Fine-scale estimations of bioclimatic change in the Valencia region, Spain»; *Atmospheric Research* (180); pp. 150-164.
- MIRÓ, J. J.; ESTRELA, M. J.; CASELLES, V. y GÓMEZ, I. (2018): «Spatial and temporal rainfall changes in the Júcar and Segura basins (1955–2016): Fine-scale trends»; *International Journal of Climatology* 38(13); pp. 4699-4722.

- MORENO, J. M. (2008): «Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático»; *Boletín CF+ S* (38/39).
- OLCINA CANTOS, J. (2009): «Cambio climático y riesgos climáticos en España»; *Investigaciones Geográficas* (49).
- PAN-MONTOJO, J. (2009): «Las vitiviniculturas europeas: de la primera a la segunda globalización»; *Mundo agrario* 9(18).
- PIQUERAS, J. (2014): *La vid y el vino en España: Edades Antigua y Media*. Universitat de València.
- PRADOS MARTÍNEZ, F. (2011): «La producción vinícola en el mundo fenicio-púnico Apuntes sobre cultivo de la vid y consumo del vino a través de las fuentes arqueológicas y literarias»; *Gestión* 29(1); pp. 9-35.
- SEGARRA, O. (2012): *La cultura del vino*. Editorial Amat.
- TORRES, M. A. (1996): «Producción y comercialización del vino en el Mediterráneo»; *La alimentación mediterránea. Historia, cultura, nutrición*. Barcelona, Icaria; pp. 197-206.

Acciones de la OIV respecto al cambio climático y la sostenibilidad

Mario de la Fuente*

OIV

Resumen/Abstract

Los efectos del cambio climático conllevan la adopción de medidas y estrategias de adaptación del sector vitivinícola que la OIV debe afrontar y liderar en los próximos años. El presente documento ofrece una retrospectiva de las acciones que ha llevado a cabo esta organización, las que está desarrollando o tiene en mente para el futuro próximo, en relación a la sostenibilidad y al cambio climático. Las estrategias de resiliencia y adaptación, el uso razonable del agua en viticultura y la huella hídrica, la optimización de la aplicación de productos de protección de plantas (PPP), la biodiversidad funcional, la monitorización y vigilancia de enfermedades, la mejora genética y selección de variedades de vid resistentes a distintos factores del cambio climático, etc. pueden ayudar a la producción sostenible y sostenibilidad del sector vitivinícola y a la adaptación de las empresas del sector a los cambios climáticos soportados.

.....

Climate change effects imply the adoption of some measures and strategies for the wine sector adaptability that the OIV must confront and lead in the next years. The present document offers a retrospective of the actions that this organization has carried out, which are developing or having in mind for the close future, in relation to the sustainability and to the climate change. Adaptation and resilience strategies, reasonable use of water in viticulture and water foot print, optimizing the plant protection products (PPP) application in vineyards, functional biodiversity, monitoring diseases, breeding and genetic selection of resistant grapevine varieties to different climate change factors, etc. can help to the sustainable production and sustainability of the wine sector and to help companies of this sector to adapt to the supported climate changes.

* Las opiniones expresadas en este documento son propias del autor y no refleja la opinión o posición de la OIV. Solo las resoluciones adoptadas por los Estados miembros de la OIV tienen un carácter oficial.

1. La OIV y su relevancia internacional

El sector vitivinícola mundial comprende 7,5 millones de hectáreas, que producen más de 75 millones de toneladas de uva y mueven alrededor de 29.000 millones de euros al año¹. La OIV –Organización Internacional de la Viña y el Vino– es una organización intergubernamental de naturaleza científico-técnica que está formada por 46 Estados miembros y 13 entidades observadoras. Representa al 85 % de la producción mundial del sector vitivinícola y al 80 % del consumo mundial de vino y está presente en los 5 continentes.

Su misión principal es establecer estándares internacionales para los diferentes productos de la vid (uvas, vino, destilados, etc.), principalmente en relación a la definición de productos y procesos, las prácticas enológicas, los métodos de análisis, estudios sectoriales o informes de coyuntura del mercado o el etiquetado de productos.

Cabe destacar que los estándares de la OIV están integrados en acuerdos (p. ej. Organización Mundial de Comercio), legislaciones nacionales (p. ej. regulación china n.º GB15037-2006) e internacionales (p. ej. EC n.º 1234/2007, n.º 606/2009 o el acuerdo Mercosur n.º 45/96) y que, frecuentemente, esta organización coopera con otras organizaciones intergubernamentales e internacionales (p. ej. UE, *Codex Alimentarius*), siendo la principal referencia científica internacional dentro del sector vitivinícola.

Dentro de las diversas funciones que tiene la OIV destaca el desarrollo de datos y estadísticas globales en relación a la superficie, producción, consumo y mercado vitivinícola. Dicha actividad es llevada a cabo por el Departamento de Estadísticas Globales de la OIV. Asimismo, la OIV realiza estudios temáticos en aspectos clave del sector vitivinícola como, por ejemplo: cambio climático, innovación, biotecnología, emisiones de gases de efecto invernadero y huella hídrica, nutrición y salud, etc. Todos estos estudios dan lugar a diferentes publicaciones o documentos técnicos de experiencia colectiva que están libremente disponibles en su propia página web. Por otro lado, la OIV concede patrocinio a congresos, simposios y reuniones de carácter científico técnico del sector y regula los concursos internacionales de vino. Por último, también se involucra en la formación vitivinícola a través del diploma internacional de la OIV en dirección del sector vitivinícola (Máster OIV).

¹ OIV (2017).

2. Creación del Grupo de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático (ENVIRO)

En el plan estratégico de la OIV para los años 2012-2014, la producción sostenible ya estaba contemplada dentro del eje D como una de las prioridades de la Comisión Viticultura. Dicho plan estratégico tiene continuación con el 2015-2019, en el cual la producción sostenible ocupa el primer lugar dentro de sus ejes estratégicos, y no es por casualidad. En concreto, este primer eje versa sobre el objetivo de fomentar una vitivinicultura sostenible y tiene varias acciones importantes, como son:

- Considerar y reaccionar de cara al reto del cambio climático (vitivinicultura en condiciones extremas, estrategias de adaptación).
- Caracterizar y evaluar los principios y los métodos de producción sostenible.
- Proteger y optimizar el uso de recursos naturales.
- Analizar la eficacia económica (costes y beneficios) de los distintos sistemas de producción.
- Identificar y analizar los procedimientos de las empresas del sector en función de la responsabilidad social.
- Tener en cuenta la sostenibilidad de los *terroirs* vitícolas.

Para dar respuesta a esta demanda, en las reuniones de la OIV de octubre de 2015 (Avignon, Francia), se decidió reestructurar los grupos de trabajo de cada comisión y, en concreto, se creó el Grupo de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático (ENVIRO). Este grupo, dependiente de la Comisión I, es sin embargo de carácter transversal (formado por expertos de todas las diferentes comisiones de la OIV) y está basado en la experiencia previa de otros grupos de trabajo: balance de dióxido de carbono (CO₂); producción sostenible (DURABLE) y medioambiente vitícola y cambio climático (CLIMA).

El nuevo grupo de trabajo pretende canalizar todas las cuestiones relacionadas con el medioambiente y coordinar los trabajos de la OIV sobre este tema, con el fin de desarrollar un enfoque global y coherente que se ajuste al Plan Estratégico 2015-19. Todos los trabajos del Grupo ENVIRO se encuentran organizados en torno a cinco ejes principales:

1. Caracterización y promoción de los sistemas de producción respetuosos con el medioambiente. Elaborar definiciones armonizadas de los sistemas de producción reconocidos (producción sostenible, producción ecológica, etc.). Promoción de otras iniciativas colectivas.
2. Evaluación del rendimiento ambiental. Criterios aplicables y metodologías existentes. Análisis multicriterio y de ciclo de vida.
3. Estrategias del sector vitícola para mitigar el impacto ambiental. Iniciativas nacionales (legislación en materia de protección medioambiental, programas nacionales de reducción del impacto, etc.) y buenas prácticas para mejorar la eficacia medioambiental en el sector. Recomendaciones y guías de la OIV para una buena gestión medioambiental.
4. Estrategias de adaptación del sector al cambio climático.
5. Comunicación y promoción de iniciativas colectivas en materia de medioambiente. Prácticas de comunicación y guías de buenas prácticas de comunicación.

Actualmente, el grupo ENVIRO tiene a su cargo la finalización de una resolución en curso sobre la comunicación relacionada con el protocolo de cálculo de gases de efecto invernadero de las empresas del sector vitivinícola² y doce acciones más en los diferentes ejes descritos previamente.

3. Concepto actual de sostenibilidad

La vitivinicultura sostenible se define por la OIV³ como el «enfoque global de los sistemas de producción y transformación de las uvas, asociando a la vez la continuidad económica de las estructuras y de los territorios, la obtención de productos de calidad, la consideración de las exigencias de una viticultura de precisión, de los riesgos vinculados al medioambiente, a la seguridad de los productos y la salud de los consumidores, y la valoración de los aspectos patrimoniales, históricos, culturales, ecológicos y paisajísticos».

Esta definición, y las mantenidas en las posteriores resoluciones de la OIV sobre producción sostenible⁴, tienen el mismo problema, su enfoque es emi-

² Proyecto de resolución OIV CST 12-503H.

³ Resolución OIC CST 1/2004.

⁴ OIV (2008): Resolución CST 1/2008 y OIV (2011): Resolución OIV-VITI 422-2011.

nentemente medioambiental y está centrada en aspectos ecológicos de producción e impactos medioambientales.

Hoy en día, después de la publicación de numerosos informes internacionales y tratados⁵, la sostenibilidad se entiende por un concepto mucho más holístico, mucho más global. La sostenibilidad se basa en cuatro pilares fundamentales: medioambiental (cómo no, tener en cuenta los impactos generados por nuestra actividad sobre el medioambiente); económico (sí, porque si una empresa no es sostenible económicamente, se dedica a hacer otra actividad, puesto que no es viable); social (las empresas de nuestro sector deben estar dimensionadas de acuerdo a su entorno social-empresarial y garantizar los derechos de los trabajadores y consumidores) y cultural (los productos del sector vitivinícola están ligados a la historia y patrimonio del hombre desde hace miles de años, marcan las tradiciones de muchas regiones de todo el mundo y, no es por casualidad que hoy en día, dieciséis regiones vitivinícolas están consideradas por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad⁶ y existen ciertas tradiciones y patrimonios culturales inmateriales reconocidos alrededor del mundo del vino⁷).

Todo este enfoque quedó reflejado en la adopción de los principios generales de la OIV para la vitivinicultura sostenible⁸ en Bento Gonçalves (Brasil, 2016). Dicha resolución se estructura, después de un primer capítulo introductorio, en otros tres capítulos sobre los que se desarrollan los pilares mencionados previamente: la vitivinicultura sostenible respeta el medioambiente, la vitivinicultura sostenible es sensible a los aspectos sociales y culturales y la vitivinicultura sostenible pretende mantener la viabilidad económica. Por último, un breve capítulo que evoca el proceso de mejora continua que todo sistema sostenible debe contemplar, ya que las iniciativas sostenibles requieren planificación y evaluación.

Por otro lado, el grupo ENVIRO ha trabajado no solo en el establecimiento de los principios generales de la sostenibilidad, sino también en una reciente particularización para el sector de destilados y bebidas espirituosas⁹.

Por último, cabe destacar que este grupo se encuentra inmerso en la elaboración de unas líneas directrices prácticas para la aplicación de los princi-

⁵ UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (1980), Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (Comisión Brundtland) (1987) y Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro (1992).

⁶ <http://whc.unesco.org/fr/list>.

⁷ <https://ich.unesco.org/es/listas>.

⁸ Resolución OIV CST 518-2016.

⁹ Resolución OIV-ECO 501-2017.

prios de la sostenibilidad. El objetivo es crear herramientas y buenas prácticas (viñedo, bodega y comercialización) que puedan ser implementadas por todas las empresas y todos los actores del sector vitivinícola (expandir su alcance a todas las actividades del sector). Este documento está fundamentado en el concepto de responsabilidad social empresarial y se basa en diferentes estándares internacionales (p. ej. ISO 26000).

4. Acciones realizadas sobre la sostenibilidad y el cambio climático

El cambio climático es un reto que el grupo ENVIRO afronta en su plan de trabajo, pero no es un reto nuevo para la OIV ni para la Comisión de Viticultura.

Desde 1998, el grupo de trabajo «Viticultura, Medioambiente y Cambio climático (CLIMA)» ha desarrollado varias resoluciones alrededor del cambio climático y sus efectos. Las primeras resoluciones adoptadas ese mismo año fueron la resolución sobre la zonificación vitícola¹⁰ y la resolución sobre los efectos de la sequía¹¹. En la primera se recomendaba a los países miembros la realización de estudios de zonación (escalas diferentes, macrozonación, microzonación, etc.) para la caracterización de las zonas vitícolas y delimitar las áreas de producción (p. ej. indicación geográfica o denominación de origen), para administrar y orientar la evolución de las áreas vitícolas y fomentar la mejor comprensión de la relación terruño-vid-vino. Por otro lado, en la segunda resolución se fomentaba el estudio de todos los aspectos científicos, técnicos (meteorología, material vegetal, fisiología o prácticas de cultivo) y socioeconómicos que permitan limitar las graves consecuencias debidas a la falta de agua.

En 2006 se ahondó aún más en el concepto de zonificación vitivinícola tras el 4.º Simposio Internacional de Zonificación Vitivinícola (Aviñón, 2002) y se redactó la resolución¹² sobre zonificación, que fomentaba el empleo de la misma en los estudios vitivinícolas a nivel internacional. Es en esta resolución donde aparece por primera vez el concepto de «*terroir* vitícola». Esta resolución sería completada con la definición de *terroir* vitícola¹³ y por

¹⁰ Resolución OIV-VITI 4-1998.

¹¹ Resolución OIV VITI 5-1998.

¹² Resolución OIV VITI 4-2006.

¹³ Resolución OIV VITI 333-2010.

las líneas directrices de la OIV sobre metodologías de zonificación vitivinícola a nivel de suelo y del clima¹⁴.

Una de las principales preocupaciones relacionadas con el cambio climático son las emisiones de gases de efecto invernadero. Establecer unos principios generales básicos para un protocolo de cálculo de dichas emisiones dentro del sector vitivinícola fue prioridad máxima de la OIV, que dio como fruto la resolución aprobada en 2011¹⁵. En ella se definen dos protocolos paralelos pero diferentes (empresa y producto) y se revisa fase a fase el proceso productivo, todo el ciclo de vida, dando pautas a la hora de afrontar el cálculo por parte de una empresa del sector vitivinícola.

En 2015 se adoptó un protocolo¹⁶ pormenorizado para el cálculo de gases de efecto invernadero en el sector vitivinícola y se adjuntó un inventario de emisiones y capturas de gases con reconocido efecto. Posteriormente, la OIV ha publicado un documento sobre recomendaciones metodológicas para contabilizar el balance de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en el sector vitivinícola¹⁷, dada la gran proliferación de diferentes métodos de cálculo o balances de gases de efecto invernadero. Este documento basa su cálculo según las diferentes categorías inventariadas: viñedo (almacenamiento de carbono y uso del suelo¹⁸, biomasa de cultivos perennes¹⁹ en suelo y planta²⁰, emisiones de fertilizantes²¹, etc.), energía empleada (fuel²², biofuel²³, electricidad, potencia contratada, etc.), residuos y reciclaje, maquinaria e infraestructuras, refrigeración, transporte e insumos.

Por último, sobre la base de que todos los estudios de cambio climático deberían tener una misma metodología estandarizada para que se puedan realizar comparaciones entre distintos países, la OIV adoptó en 2015 las directrices para estudiar la variabilidad climática en la vitivinicultura en el contexto del cambio climático²⁴. Dicho documento recomienda el empleo de una metodología por etapas (periodo de estudio, ámbito espacial de estudio, variables climáticas y vitivinícolas, modelos climáticos y los escenarios del estudio), donde se detallan recomendaciones para cada etapa y se enumeran varios ín-

¹⁴ Resolución OIV VITI 423-2012.

¹⁵ Resolución OIV VITI 431-2011.

¹⁶ Resolución OIV-CST 503AB-2015.

¹⁷ OIV (2017).

¹⁸ ADEME (2014).

¹⁹ IPCC (2006a).

²⁰ WILLIAMS y BISCAY (1991).

²¹ BLONK *et al.* (2012).

²² EN 16258 (2012).

²³ <https://www.forestry.gov.uk/fr/bec>.

²⁴ Resolución OIV-VITI 517-2015.

lices agroclimáticos, variables internacionales de referencia y parámetros que todo estudio debe cumplir.

5. Trabajos en curso relativos al cambio climático y la sostenibilidad

Actualmente, el grupo ENVIRO se encuentra inmerso en varias actividades dentro del marco de la sostenibilidad y del cambio climático, además de la realización de las mencionadas líneas directrices prácticas para la aplicación de los principios de la responsabilidad social empresarial y de la resolución sobre la comunicación relacionada con protocolos de cálculo de gases de efecto invernadero de las empresas del sector vitivinícola.

Debido a los efectos del cambio climático, el grupo ENVIRO está trabajando en un proyecto sobre la compilación de fichas técnicas (documento de experiencia colectiva) con diversas estrategias de adaptación del sector vitícola (resiliencia). En un futuro próximo, se espera poder compilar las diferentes opciones y herramientas disponibles para atenuar, por ejemplo, los efectos de las altas temperaturas derivadas de la exposición solar de los racimos en maduración de zonas cálidas y, por lo tanto, lograr una disminución térmica en dicha zona (manejo apropiado del *canopy*²⁵, despunte, riego²⁶, aplicación de productos antiestrés²⁷, etc.).

Quizás la mayor preocupación debida al cambio climático, junto con el aumento general de las temperaturas, sea la heterogeneidad de las precipitaciones y la escasez de agua utilizable a nivel global. Conviene tener en cuenta que algunos autores estiman que para producir un litro de vino se puede llegar a emplear hasta mil litros de agua²⁸. Respecto a este punto, existe un grupo de trabajo que está realizando una revisión de las metodologías existentes relativas al cálculo de la huella hídrica en viñedo. El objetivo es determinar cuáles son las más adecuadas para su uso en vitivinicultura, pues las regiones vitivinícolas difieren en su huella hídrica (principalmente en la relación huella hídrica azul/verde) debido a las grandes diferencias de pluviometría y demanda evaporativa existentes en las regiones cultivadas²⁹.

²⁵ VAN LEEUWEN *et al.* (2009) y SPAYD *et al.* (2002).

²⁶ CARBONNEAU y COSTANZA (2004).

²⁷ MORI, SUGAYA y GEMMA (2005).

²⁸ HOEKSTRA *et al.* (2011).

²⁹ ALDAYA *et al.* (2010).

Las recomendaciones que la OIV pretende dar están basadas en diferentes fuentes: modelos publicados por organismos internacionales relevantes (p. ej. *Water Footprint Network*; WFN), balances hídricos y análisis de ciclo de vida que contemplen el agua y que se basen en métodos empleando estándares internacionales (p. ej. ISO 14046, 2010).

Hoy en día, todas las metodologías usan la clasificación de la huella hídrica en tres tipos de agua diferente, atendiendo a su origen y/o al tipo de contaminante³⁰: agua verde (agua de lluvia consumida mediante transpiración de vegetación o evaporación superficial), agua azul (consumo de agua superficial y subterránea que se evapora o es incorporada en un producto; incluye el riego y el empleo de agua en el proceso de producción: la bodega, el combustible, la electricidad, productos agroquímicos, etc.) y agua gris (volumen de agua dulce requerido en procesos de viñedo y bodega para asimilar una carga de agentes contaminadores, principalmente la lixiviación de nitrógeno).

Entre los diversos modelos, hay varias diferencias. Algunos dan más importancia a la huella verde³¹, mientras que otros encuentran el impacto de la huella verde insignificante e, incluso, impactos positivos en la huella azul, siendo la huella gris la más problemática³². Por otro lado, existen modelos que separan la contabilidad de la huella hídrica de la producción de la uva y del vino³³, algunos no consideran la evapotranspiración como pérdidas en el sistema³⁴, otros se focalizan más en las reservas hídricas del suelo³⁵ o en los impactos de la actividad en las fuentes y recursos hídricos³⁶, etc. Todo esto pone de manifiesto la necesidad de armonizar la metodología existente y dar unas pautas generales desde el punto de vista de la OIV.

Además de todas estas acciones, el grupo de trabajo está dedicado a la redacción de un proyecto de resolución sobre el uso razonable del agua en viticultura³⁷, donde se proponen algunas recomendaciones generales y directrices específicas como, por ejemplo, reserva hídrica del suelo³⁸, sistemas de riego³⁹ y tecnologías de monitoreo y programación⁴⁰, configuración y manejo del ca-

³⁰ MEKONNEN y HOEKSTRA (2011).

³¹ LAMAstra *et al.* (2014).

³² CLOTHIER *et al.* (2013).

³³ ENE *et al.* (2013).

³⁴ BERGER y FINKBEINER (2012).

³⁵ DEURER *et al.* (2011).

³⁶ CANALS *et al.* (2009).

³⁷ Proyecto de resolución VITI-PROTEC 15-569. Etapa 5.

³⁸ PELLEGRINO *et al.* (2005).

³⁹ SEBASTIÁN *et al.* (2015).

⁴⁰ EDWARDS (2014).

*nopy*⁴¹, herramientas para limitar la demanda evapotranspirativa del viñedo⁴² y reciclado y reutilización del agua⁴³.

Dentro de este mismo apartado, pero debido a los efectos colaterales de la correcta utilización del agua, el grupo viene desarrollando dos iniciativas relevantes. Por un lado, la buena gestión de la aplicación de productos de protección de plantas (PPP) en viñedo⁴⁴ es clave, por ejemplo, para determinar y optimizar la dosis de caldo (volumen de agua) en la aplicación de estos productos, que se debe adaptar a diversos factores: desarrollo foliar; estados fenológicos; densidad de plantación; etc. Asimismo, y por otro lado, para la correcta utilización de insumos de manera general, el empleo de la viticultura de precisión⁴⁵ es un elemento clave en el desarrollo sostenible de nuestro sector vitivinícola.

El cambio climático implica variaciones en los ecosistemas en los que se encuentra el viñedo, afectando no solo a él mismo, sino también al conjunto de especies que lo rodean. Hoy en día, el estudio de la biodiversidad funcional es una estrategia clave para adaptarse a estos cambios y ser más sostenibles. El grupo ENVIRO está redactando un documento técnico de experiencia colectiva sobre la definición y principios de biodiversidad funcional⁴⁶ y ecológica, y sus métodos de evaluación. El documento define la biodiversidad funcional en viñedo y sus principales aspectos en el sector vitícola: mejora de la biodiversidad beneficiosa, infraestructuras ecológicas presentes en el viñedo; interacciones entre especies o grupos de especies y cómo se pueden emplear estas interacciones para el beneficio del viñedo, etc. Además, se ha iniciado otro proyecto para definir el microbioma como indicador y parámetro medible de la biodiversidad microbiana del suelo⁴⁷, que será una herramienta a tener en cuenta en un futuro próximo.

Asimismo, al cambiar las relaciones de las especies y las condiciones del clima, también cambia la presión de las diferentes enfermedades del viñedo sobre él, afectando en mayor o menor medida en unas regiones u otras, según sean las condiciones actuales del medio. Por ello, la OIV (liderado por el Grupo de Trabajo de Protección de la Vid; PROTEC) tiene un programa continuo de vigilancia de enfermedades de vid y realiza estudios particulariza-

⁴¹ DE LA FUENTE *et al.* (2015).

⁴² SUVOČAREV *et al.* (2013) y DINIS *et al.* (2016).

⁴³ HIRZEL *et al.* (2017).

⁴⁴ Proyecto de resolución VITI-PROTEC 15-592. Etapa 5.

⁴⁵ Proyecto de resolución VITI-PROTEC 15-593. Etapa 5.

⁴⁶ BOLLER *et al.* (2004).

⁴⁷ BELDA *et al.* (2017).

dos sobre diferentes enfermedades o plagas del cultivo de la vid. Fruto de ello ha sido la publicación de la revisión sobre enfermedades de madera⁴⁸ o la reciente colaboración en un estudio europeo y la consiguiente redacción (acción actualmente en curso) de un dossier sobre la Flavescencia dorada de la vid.

Por último, cabe destacar la iniciativa, ya empezada en 2016 dentro del Grupo de Trabajo ENVIRO, para la compilación de trabajos científicos publicados en viticultura y cambio climático⁴⁹. Se trata de una red virtual de una plataforma (con más de 30 socios) pública a través de la cual los usuarios comparten más de 300 trabajos de varias regiones vitivinícolas del mundo, etiquetados por palabras clave y con enlaces a los documentos originales para poder realizar una consulta más completa.

6. Futuras perspectivas y conclusiones

Uno de los aspectos de mayor actualidad, y que la OIV está afrontando a medio-corto plazo, es la selección y mejora de nuevas variedades para la adaptación al cambio climático. En 2016 se presentó una propuesta de resolución, y el Grupo de Recursos Genéticos de la Vid (GENET) está redactando el primer borrador del documento, que servirá para fomentar el desarrollo de programas de mejora y tecnología genética en todo el mundo, que ayuden a seleccionar variedades y que puedan hacer frente al desafío del cambio climático en distintas condiciones. Asimismo, a través de futuras resoluciones⁵⁰, se pretende facilitar el intercambio de material vegetal y germoplasma para la investigación y el comercio de nuevos cultivares.

Por otro lado, iniciativas como la realización de líneas directrices para la bodega eco-sostenible o para la producción sostenible de zumo de uva y de zumo concentrado, y alternativas sostenibles al empleo del cobre en viticultura o a la utilización de 'bioestimulantes' y extractos vegetales en viticultura pueden ayudar en un futuro no solo a la sostenibilidad del sector vitivinícola, sino a obtener al mismo tiempo herramientas que ayuden en la adaptación del sector a los eventuales cambios climáticos.

Como conclusión, la OIV, como principal organización internacional e intergubernamental de referencia del sector vitivinícola, se preocupa con una atención creciente y especial de todos los desafíos del sector vitivinícola y, con

⁴⁸ OIV (2016).

⁴⁹ https://www.zotero.org/groups/472802/viticulture_and_climate_change.

⁵⁰ Proyecto de resolución VITI GENET-PROTEC 565AB.

especial detalle, sobre todos los aspectos relacionados con la sostenibilidad y el cambio climático, a través de las iniciativas desarrolladas por sus diversos grupos de trabajo y a través de sus resoluciones, recomendaciones e informes técnicos. Todo este trabajo puede ser aprovechado por los actores públicos y privados (se encuentra disponible y de libre acceso a través de su página web) de los países productores para diseñar y mejorar sus estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático.

Agradecimientos

El presente artículo es el resumen de la actividad regular del grupo de trabajo ENVIRO y de otros grupos de trabajo de la OIV, principalmente de la Comisión Viticultura. El autor agradece a todos los expertos de la OIV su implicación y participación en los diferentes proyectos mencionados, así como al Secretariado General de la OIV su tiempo, dedicación, información y formación prestados para elaborar dicho documento.

Referencias bibliográficas

- ADEME (2014): *Base Carbone. GIS sol model*; en <http://www.gissol.fr/>.
- ALDAYA, M. M.; MARTÍNEZ-SANTOS, P. y LLAMAS, M. R. (2010): «Incorporating the Water Footprint and Virtual Water into Policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain»; *Water Resource Manage* (24); pp. 941-958.
- BELDA, I.; ZARRAONAINDIA, I.; PERISIN, M.; PALACIOS, A. y ACEDO, A. (2017): «From Vineyard Soil to Wine Fermentation: Microbiome Approximations to explain the *terroir* concept»; *Frontiers in Microbiology* (8); pp. 821. doi:10.3389/fmicb.2017.00821.
- BERGER, M. y FINKBEINER, M. (2012): «Methodological challenges in volumetric and impact-oriented water footprints»; *Journal of Industrial Ecology* 17(1); pp. 79-89.
- BLONK, H.; MARINUSSEN, M. y KOOL, A. (2012): «LCI data for the calculation tool Feedprint for greenhouse gas emissions of feed production and utilization»; *GHG Emissions of N, P and K fertilizer production*.

- BOLLER, E. F.; HÄNI, F. y POEHLING, H. M. (2004): «Ecological Infrastructures. Ideabook on Functional Biodiversity at the Farm Level»; *IOBCwprs Commission on Integrated Production Guidelines and Endorsement*.
- CANALS, L. M. I.; CHENOWETH, J.; CHAPAGAIN, A.; ORR, S.; ANTON, A. y CLIFT, R. (2009): «Assessing freshwater use impacts in LCA: part I- inventory modelling and characterisation factors for the main impact pathways»; *International Journal of Life Cycle Assessment* 14(1); pp. 28-42.
- CARBONNEAU, A. y COSTANZA, P. (2004): «Response of vine leaf water potential to quick variation in canopy exposure. Example of canopy opening manipulation of Merlot (*Vitis vinifera* L.)»; *Journal international des sciences de la vigne et du vin* 38(1); pp. 27-33.
- CLOTHIER, B.; HERATH, I. y GREEN, S. (2013): «Reducing the water footprint of irrigated agriculture»; *Irrigation Australia: The Official Journal of Irrigation Australia* 29(2).
- COMISIÓN MUNDIAL SOBRE EL MEDIO AMBIENTE Y EL DESARROLLO (COMISIÓN BRUNDTLAND) (1987): *Nuestro futuro común*. Naciones Unidas.
- CUMBRE DE LA TIERRA (1992): *Programa 21*. Río de Janeiro.
- DE LA FUENTE, M.; LINARES, R. y LISSARRAGUE, J. R. (2015): «Canopy management and water use efficiency in vineyards under Mediterranean semiarid conditions. EDPsciences (Bioweb of conferences)»; Alemania, Mainz. 38th World Congress of Vine and Wine 14th General Assembly of the OIV 01005; pp. 1-6. DOI: 10.1051/bioconf/20150501005.
- DEURER, M.; GREEN, S. R.; CLOTHIER, B. E. y MOWAT, A. (2011): «Can product water footprints indicate the hydrological impact of primary production? A case study of New Zealand kiwifruit»; *Journal of Hydrology* (408); pp. 246-256.
- DINIS, L. T.; BERNARDO, S.; CONDE, A.; PIMENTEL, D.; FERREIRA, H.; FÉLIX, L.; GÉROS, H.; CORREIA, C. M. y MOUTINHO-PEREIRA, J. (2016): «Kaolin exogenous application boosts antioxidant capacity and phenolic content in berries and leaves of grapevine under summer stress»; *Journal of plant physiology* (191); pp. 45-53.
- EDWARDS, E. J. (2014): «What-can-the-vine-tell-us-about-its-water-status?»; *Wine Australia*.
- EN 16258 (2012): *Methodology for the calculation and declaration of energy consumption and greenhouse gas emissions of transport services*.

- ENE, S. A.; TEODOSIU, C.; ROBU, B. y VOLF, I. (2013): «Water footprint assessment in the winemaking industry: a case study for a Romanian medium size production plant»; *Journal of Cleaner Production* (43); pp. 122-135.
- HIRZEL, D. R.; STEENWERTH, K.; PARIKH, S. J. y OBERHOLSTER, A. (2017): «Impact of winery wastewater irrigation on soil, grape and wine composition»; *Agricultural Water Management* (180); pp. 178-189.
- HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K.; ALDAYA, M. M. y MEKONNEN, M. M. (2011): «The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. Water Footprint. Network»; *Earthscan Publishing*. Reino Unido.
- LAMASTRA, L.; SUCIU, N. A.; NOVELLI, E. y TREVISAN, M. (2014): «A new approach to assessing the water footprint of wine: An Italian case study»; *Science of the Total Environment* (490); pp. 748-756.
- IPCC (2006a): «Chapter 4: forest land»; *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories* (4). *Agriculture, forestry and other land use*; en <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index>.
- MEKONNEN, M. M y HOEKSTRA, A. Y. (2011): «The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products»; *Hydrology and Earth System Sciences* 15(5); pp. 1577-1600.
- MORI, K.; SUGAYA, S. y GEMMA, H. (2005): «Decreased anthocyanin biosynthesis in grape berries grown under elevated night temperature condition»; *Scientia Horticulturae* (105); pp. 319-330.
- OIV (2008): *Guía de la OIV para una vitivinicultura sostenible: producción, transformación y el acondicionamiento de los productos*. CST 1/2008.
- OIV (2011): *Líneas directrices de la OIV para una viticultura sostenible: producción, almacenamiento, secado, transformación y acondicionamiento de uvas pasas y de uvas de mesa*. OIV-VITI 422/2011.
- OIV (2016): «Grapevine Trunk Diseases»; *A review*; en <http://www.oiv.int/public/medias/4650/trunk-diseases-oiv-2016.pdf>.
- OIV (2017): *Balance global provisional de la situación del sector vitivinícola en el último año*; en <http://www.oiv.int/es/normas-y-documentos-tecnicos/analisis-estadisticos/analisis-anual>.
- OIV (2017): *Methodological recommendations for accounting for GHG balance in the vitivinicultural sector*; en <http://www.oiv.int/public/medias/5519/methodological-ghg-balance.pdf>.

- PELLEGRINO, A.; LEBON, E.; VOLTZ, M. y WERY, J. (2005): «Relationships between plant and soil water status in vine (*Vitis vinifera* L.)»; *Plant Soil* (266); pp. 129-142.
- SEBASTIÁN, B.; BAEZA, P.; SANTESTEBAN, L. G.; SÁNCHEZ DE MIGUEL, P.; FUENTE DE LA, M. y LISSARRAGUE, J. R. (2015): «Response of grapevine cv. Syrah to irrigation frequency and water distribution pattern in a clay soil»; *Agricultural Water Management* 148(1); pp. 269-279.
- SPAYD, S. E.; TARARA, J. M.; MEE, D. L. y FERGUSON, J. C. (2002): «Separation of sunlight and temperature effects on the composition of *Vitis vinifera* cv. Merlot berries»; *American Journal of Enology and Viticulture* 53(3); pp. 171-182.
- SUVOČAREV, K.; BLANCO, O.; FACI, J. M.; MEDINA, E. T. y MARTÍNEZ-COB, A. (2013): «Transpiration of table grape (*Vitis vinifera* L.) trained on an overhead trellis system under netting»; *Irrigation science* 31(6); pp. 1289-1302.
- UNIÓN INTERNACIONAL PARA LA CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA (1980): *Estrategia para la conservación mundial*.
- VAN LEEUWEN, C.; TRÉGOAT, O.; CHONÉ, X.; BOIS, B.; PERNET, D. y GAUDILLÈRE, J. P. (2009): «Vine water status is a key factor in grape ripening and vintage quality for red Bordeaux wine. How can it be assessed for vineyard management purposes?»; *OENO One* 43(3); pp. 121-134.
- WILLIAMS, L. E. y BISCAY, P. J. (1991): «Partitioning of Dry Weight, Nitrogen, and Potassium in Cabernet Sauvignon grapevines from anthesis until harvest»; *Am. J. Enol. Vitic.* (42); pp. 113-117.



II. ENFOQUE PRODUCTIVO, TECNOLÓGICO Y EMPRESARIAL

Manejo integral del viñedo para hacer frente al cambio climático

Uso eficiente del riego y otras prácticas agronómicas

Diego S. Intrigliolo, Felipe Sanz, Antonio Yeves

Alejandro Martínez e Ignacio Buesa

Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Unidad del IVIA asociada al CSIC
«Riego en la Agricultura Mediterránea»

Resumen/Abstract

Los efectos del calentamiento global y la escasez de recursos hídricos en la viticultura mediterránea requieren de técnicas para su adaptación. Entre ellas cabe destacar el uso del riego deficitario, el manejo y cobertura del suelo, la orientación de las filas de espalderas o la modificación de la arquitectura del dosel vegetal como prácticas para mejorar la eficiencia en el uso del agua. El estado hídrico de las cepas es un aspecto crítico en su productividad y en calidad de la uva. Por ello, el conocimiento de la sensibilidad varietal al estrés hídrico y de las prácticas agronómicas que puedan reducir su susceptibilidad son esenciales para incrementar la resiliencia del viñedo ante el cambio climático. Otro aspecto crítico para la sostenibilidad de la vitivinicultura mediterránea es la mitigación de los efectos negativos del calentamiento global sobre la composición de la uva y por tanto, de los vinos. Con ese objetivo, prácticas de deshojado o poda tardías, o el forzado de yemas, se proponen como técnicas de adaptación potencialmente efectivas.

.....

The effects of global warming and water scarcity on Mediterranean viticulture require of techniques for its adaptation. These include the use of deficit irrigation, soil management and mulching, the orientation of vineyard trellises or the modification of canopy architecture, aiming to improve water-use efficiency. Vine water status is a critical aspect in yield and grape quality. Therefore, the knowledge

about water stress sensitivity of cultivars and on the agronomic practices that can reduce their susceptibility to drought are essential for enhancing vineyard resilience to cope with climate change. Another critical aspect for Mediterranean viticulture sustainability is the mitigation of the negative effects of global warming on grape composition, and consequently, on wine. With this aim, practices such as late leaf removal, late pruning or forcing bud growth are proposed as potentially effective adaptation techniques.

1. Introducción

El cultivo de la vid para la elaboración de vinos depende en gran medida de la calidad del producto final a producir, lo que condiciona de forma importante las prácticas agronómicas de campo a llevar a cabo. Eso quiere decir que, en función de la calidad del vino a obtener, el viticultor debe adaptar las prácticas agronómicas a realizar. Dichas prácticas agronómicas dependerán también del material genético (porta-injerto y variedad) que se emplee y del *terroir* del viñedo, es decir de la interacción de las condiciones edáficas, orográficas, ecológicas y climáticas dentro del agrosistema vitícola. Es por ello que el cambio climático afectará a la viticultura (Schultz y Jones, 2010).

En los climas semiáridos del Mediterráneo, la aplicación del riego es una de las herramientas que más puede influir sobre la producción y composición final de la uva, además de condicionar gran parte del resto de técnicas de cultivo que se empleen. De ahí la importancia que se le ha prestado a los temas relacionados con el riego en este capítulo. Sin embargo, debe tenerse presente que la respuesta de la vid al riego depende del resto de prácticas agronómicas que, finalmente, condicionarán los resultados a obtener para una determinada práctica de riego. Además, la posibilidad de aplicación del riego en la vid ha convertido un cultivo tradicionalmente de secano, y con pocos insumos, en un agro-ecosistema distinto en el que pueden llevarse a cabo otras prácticas agronómicas complementarias al riego que permitan aprovechar las virtudes de poder controlar el estado hídrico de las cepas mediante el riego.

2. Manejo del riego

En la vid para la producción de vinos, la aplicación del riego estuvo prohibida hasta el año 1996, debido en particular a la creencia empírica de que el aporte adicional de riego puede ser perjudicial para la calidad del vino. Una vez levantada la prohibición sobre el riego en la vid, durante la última década del siglo pasado, y en particular a principios del siglo XXI, se multiplicaron los ensayos realizados para determinar los efectos del riego en el cultivo de la vid para la producción de vino.

Dado que, en particular, en ambientes semiáridos el agua disponible es un determinante crucial de la calidad de la uva y de la productividad del viñedo (Williams y Matthews, 1990), el riego en la vid debe adaptarse a los objetivos enológicos de cada productor y al tipo de vino al que va destinada la uva producida. En este sentido, no puede ser lo mismo manejar el riego en un viñedo que va a ir destinado a la producción de vino de alta gama que un vino más corriente y con menor valor comercial.

Si bien en cualquier cultivo frutal el riego suele emplearse para cubrir el total de las necesidades hídricas potenciales del mismo para evitar que las plantas padezcan de un déficit hídrico y, por lo tanto, se vea mermada su capacidad productiva, en la vid el riego debe manejarse teniendo en cuenta los efectos del mismo no solamente sobre la producción sino también sobre la calidad de la uva y del vino resultante (Ferreira y Soriano, 2007). Todo ello complica enormemente la toma de decisiones sobre riego, dado que la respuesta al mismo puede variar en función de la variedad a estudiar y el nivel de producción general del viñedo, entre otros factores (García-Escudero *et al.*, 1991).

Por otra parte, debe tenerse en cuenta que las necesidades hídricas de la vid no son las mismas a lo largo del ciclo vegetativo, ni tampoco lo es el efecto del riego o no riego dependiendo del momento fenológico (Girona *et al.*, 2009). Por ello, habrá que cubrir los objetivos fisiológicos de cada etapa de forma distinta, pudiéndose distinguir 4 etapas (Tabla 1).

Por otra parte, dado que el riego en la viña se ha implantado recientemente en este cultivo, predomina la utilización del riego a presión mediante goteo (Figura 1), lo cual permite un mejor control en la aplicación del riego y su uniformidad (eficiencia en el uso del agua). Este sistema de riego facilita poder llevar a cabo una programación del mismo de acuerdo a criterios técnicos.

Tabla 1. Resumen general de los efectos del riego en los distintos periodos fenológicos de la vid

Brotación-Cuajado	
Periodo en el cual se produce la mayor parte del crecimiento vegetativo. Es de gran importancia porque durante esta fase la planta es muy sensible a la escasez de agua y ante un nivel de estrés hídrico moderado puede que no desarrolle toda la superficie vegetativa necesaria para conseguir fruta de calidad óptima. También es cierto que no suele ser necesario la aplicación de riego durante este periodo gracias al agua almacenada en el suelo por las lluvias del invierno y a la baja demanda evaporativa de la atmósfera.	
Cuajado-Envero	
Periodo crítico en el cual se produce una rápida división celular de las bayas tras el cuajado, lo que conformará el tamaño potencial del grano. Una adecuada dosis de agua en este periodo es fundamental para conseguir un equilibrio entre rendimiento y calidad, ya que un exceso de agua produciría granos de mayor volumen, lo que inducirá incrementos del rendimiento, pero sin embargo habitualmente conllevará una disminución de los compuestos fenólicos y aromáticos necesarios para la elaboración de vinos de elevada calidad.	
Envero-Vendimia	
Si en la etapa anterior se configuraba en gran medida el rendimiento, podría decirse que durante esta etapa se desarrollará la síntesis de compuestos de la uva (el contenido en sólidos solubles, el pH, la acidez, los polifenoles, etc.). Para conseguir la mejor calidad habrá que adecuar estos parámetros cualitativos a la producción. Un elevado aporte de agua favorecerá la acumulación de potasio, con el consiguiente efecto del aumento de pH en los vinos, así como la dilución de compuestos fenólicos, especialmente de los antocianos y flavonoles.	
Vendimia-Caída de hoja	
Aunque muchos agricultores dejan «olvidadas» a las cepas después de vendimia, esta última etapa es de vital importancia, ya que la planta continua su actividad fotosintética, acumulando las reservas en la parte leñosa que serán las utilizadas al año siguiente durante la brotación de las yemas y los primeros estadios del desarrollo vegetativo. Una dosis adecuada de agua después de vendimia ayudará a las cepas a no sufrir una senescencia prematura y por tanto, lograr un mejor almacenamiento de dichas reservas.	

Figura 1. Imagen de unas cepas de la variedad tempranillo regadas por goteo



Para una adecuada programación del riego, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) propone un método de estima de las necesidades basado en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo (ET_c) (Allen *et al.*, 1998). Este parámetro incluye la demanda evaporativa o evaporación de referencia (ET_o) y un factor ligado al cultivo, denominado coeficiente de cultivo (k_c).

$$ET_c = ET_o * K_c \quad [1]$$

Una vez determinados los requerimientos hídricos del cultivo, para el cálculo de las necesidades de riego hay que descontar el agua aportada por la lluvia. No obstante, la cantidad de lluvia que es efectivamente aprovechada por un cultivo es un valor muy difícil de parametrizar pues depende de muchos factores. De manera sencilla se puede estimar la precipitación efectiva (Pe) teniendo en cuenta el porcentaje de cobertura del cultivo, y así calcular las necesidades de riego netas (NRN).

$$NRC = ET_c - Pe \quad [2]$$

Mediante los programadores de riego es posible su automatización y, por lo tanto, llevar a cabo una programación acorde a los objetivos enológicos del viñedo y las características del suelo de la parcela.

Todo lo relativo a la toma de decisiones sobre la cantidad de agua a aplicar se detallará a continuación. En general, con el riego localizado los aportes de riego tienen que ser de corta duración y de alta frecuencia. Aplicaciones de duración excesiva, por ejemplo, superiores a 4 horas continuadas al día, pueden provocar pérdidas de agua por debajo de la zona radicular de la vid. Los aportes deben ajustarse a la textura del suelo. Por ejemplo, en aquellos terrenos de textura arenosa con goteros de 4 L/h, no serían recomendable riegos de más de dos horas. Por el contrario, en suelos más pesados, el tiempo de riego ha de ser mayor para permitir una adecuada infiltración del agua de riego. A tal fin, existen emisores de diferentes caudales para adecuar el volumen de bulbo húmedo a generar mediante el riego por goteo.

Los terrenos arcillosos y profundos son capaces de retener una gran cantidad de agua (de hasta 180 mm por cada metro de profundidad); sin embargo, en los terrenos más arenosos la capacidad de retención de agua puede llegar a ser de solo 50 mm por cada metro de profundidad en los casos más extremos. Todo ello habrá que tenerse en cuenta de cara a los aportes hídricos a realizar, que deberán modularse en función de las características del suelo de cada parcela y la pluviometría de cada campaña (dosis, caudal, frecuencia y duración).

El cálculo de las necesidades hídricas de la vid en escenarios de cambio climático no es abordado específicamente, pues aunque las predicciones indican variaciones debidas al calentamiento global (*Moratiel et al.*, 2010), en el método propuesto por la FAO queda contemplado mediante los términos de evapotranspiración de referencia (ET_0) y de precipitación efectiva (Pe).

3. Recomendaciones prácticas para el riego en Tempranillo

Tempranillo es una variedad de uva autóctona española. Es la variedad tinta más cultivada en el territorio nacional. Es bastante vigorosa en condiciones de ausencia de estrés hídrico. Se caracteriza por tener un porte erguido, lo que le confiere sensibilidad al viento. El racimo es de tamaño mediano-grande, compacto y de pedúnculo corto-medio. La baya es pequeña y circular, con un hollejo de elevado grosor y de color negro-azul. Su pulpa es blanda y muy jugosa, y no tiene pigmentación o es muy débil. La fertilidad de sus yemas es muy alta y da una producción alta. Es por ello que es habitual podarla

a pulgares de dos yemas vistas. Es sensible al estrés hídrico severo y el riego moderado durante los procesos de maduración de la uva beneficia la composición de sus mostos. No obstante, el portainjerto empleado en su cultivo le puede conferir cierta tolerancia al estrés hídrico, así como su capacidad de adaptación a diferentes tipos de suelo. Es sensible a enfermedades fúngicas como el oídio y a la excoriosis.

Sus mostos se caracterizan por tener baja acidez en comparación al resto de las variedades más cultivadas en España a igualdad de grado alcohólico probable. Produce unos vinos de color rojo rubí de media capa.

El riego en la variedad Tempranillo influye positivamente sobre su productividad. En un ensayo de riego realizado durante seis campañas por Yeves *et al.* (2011) en Requena (Valencia, España), se observó que el rendimiento se incrementa de manera casi lineal en respuesta a volúmenes de riego de hasta 1.000 m³/ha. Esto es debido, principalmente, al incremento del peso medio de la baya. El efecto más habitual del riego sobre la composición de los mostos en Tempranillo es incrementar la concentración de ácido málico, sin que los efectos sobre la acidez titulable sean tan concluyentes. El riego deficitario aplicado en la época de postenvero atenúa el estrés hídrico de las cepas en comparación al secano, lo que propicia el incremento de la acumulación de azúcares en la baya. No obstante, el efecto del riego sobre el pH de los mostos también es incrementarlo. Las restricciones de riego durante el periodo preenvero fomentan la concentración de compuestos fenólicos y de antocianos en la uva, y por consiguiente, la intensidad colorante de los vinos resultantes. Si bien, cuando se habla de dosis de riego en vid se ha de prestar especial atención a la precipitación acumulada en el suelo, así como el efecto de la carga de cosecha.

Por tanto, la decisión de una estrategia de riego es función del objetivo productivo pretendido y de las singularidades de un viñedo concreto. En este capítulo se proponen dos opciones de manejo del riego en Tempranillo. Ambas consisten en el aprovechamiento del agua de lluvia acumulada en el perfil de suelo durante el otoño-invierno, así como de las lluvias estivales, y se limitan a cubrir parcialmente las necesidades hídricas del viñedo durante los meses de verano.

Con el objetivo productivo de obtener una uva Tempranillo para vinificación de características enológicas óptimas se recomienda la aplicación de un riego deficitario que, sirva como ejemplo la comarca de Utiel-Requena, correspondería a una aplicación anual de 1.200 m³/ha para un año de climatología media (Tabla 2). Esta estrategia de riego busca maximizar la relación

hollejo-pulpa, así como un desarrollo vegetativo y estado fisiológico que posibilite alcanzar la completa madurez fenólica del hollejo y tánica en la pepita con el objetivo de obtener buenos rendimientos y poder destinar la uva para la elaboración de vinos de guarda.

Tabla 2. Resumen mensual de los componentes del balance hídrico en un viñedo de Tempranillo situado en Requena (Valencia) para un año de climatología media con el objetivo de maximizar la calidad

Mes	ET _o (mm)	K _c	ET _c (mm)	P (mm)	Pe (mm)	ET _c -Pe (mm)	Riego goteo (m ³ ha ⁻¹)
Enero	29,9	0,00	0,0	24,4	18,1	0,0	0,0
Febrero	44,3	0,00	0,0	25,9	19,4	0,0	0,0
Marzo	77,4	0,00	0,0	42,6	30,9	0,0	0,0
Abril	104,5	0,00	0,0	48,9	35,4	0,0	0,0
Mayo	139,0	0,00	0,0	45,3	32,4	0,0	0,0
Junio	156,4	0,00	0,0	22,7	5,6	0,0	0,0
Julio	175,2	0,20	35,0	10,3	2,5	32,5	325,3
Agosto	159,0	0,40	63,6	18,9	4,7	58,9	588,8
Septiembre	102,2	0,40	40,9	49,3	12,3	28,5	285,4
Octubre	63,4	0,30	19,0	48,1	32,9	0,0	0,0
Noviembre	36,1	0,00	0,0	42,3	28,1	0,0	0,0
Diciembre	25,2	0,00	0,0	27,9	19,6	0,0	0,0
Total	1.112,0	0,11	158,5	406,6	241,9	120,0	1.200,0

ET_o: evapotranspiración de referencia; K_c: coeficiente del cultivo; ET_c: evapotranspiración del cultivo; P: precipitación; Pe: precipitación efectiva.

Con el objetivo de maximizar la producción de uva Tempranillo para vinificación, se recomienda la aplicación de un riego deficitario que, para un viñedo de la comarca de Utiel-Requena, correspondería a una aplicación anual de 2.565 m³/ha para un año de climatología media (Tabla 3). Hay que destacar que estas recomendaciones de riego (en muchas regiones) no son aplicables en una determinada denominación de origen o que las concesiones de uso del agua expedidas por el organismo de cuenca no permite la aplicación de dichos volúmenes de riego en vid.

Tabla 3. Resumen mensual de los componentes del balance hídrico en un viñedo de Tempranillo situado en Requena (Valencia) para un año de climatología media con el objetivo de maximizar la producción

Mes	ET _o (mm)	K _c	ET _c (mm)	P (mm)	Pe (mm)	ET _c -Pe (mm)	Riego goteo (m ³ ha ⁻¹)
Enero	29,9	0,00	0,0	24,4	18,1	0,0	0,0
Febrero	44,3	0,00	0,0	25,9	19,4	0,0	0,0
Marzo	77,4	0,00	0,0	42,6	30,9	0,0	0,0
Abril	104,5	0,15	15,6	48,9	35,4	0,0	0,0
Mayo	139,0	0,25	34,5	45,3	32,4	2,0	21,0
Junio	156,4	0,35	54,9	22,7	5,6	49,0	494,0
Julio	175,2	0,55	96,3	10,3	2,5	93,7	937,4
Agosto	159,0	0,55	87,4	18,9	4,7	82,6	826,4
Septiembre	102,2	0,40	40,9	49,3	12,3	28,6	285,9
Octubre	63,4	0,25	15,7	48,1	32,9	0,0	0,0
Noviembre	36,1	0,15	5,4	42,3	28,1	0,0	0,0
Diciembre	25,2	0,00	0,0	27,9	19,6	0,0	0,0
Total	1.112,0	0,22	350,6	406,6	241,9	256,0	2.565,0

ET_o: evapotranspiración de referencia; K_c: coeficiente del cultivo; ET_c: evapotranspiración del cultivo; P: precipitación; Pe: precipitación efectiva.

4. Recomendaciones prácticas para el riego en Bobal

La Bobal es una variedad de uva tinta autóctona de la comarca de Utiel-Requena, Valencia, España. Es la segunda variedad tinta más cultivada en España tras la de Tempranillo, con 60.301 ha en 2016. Es especialmente importante en la Comunidad Valenciana, donde ocupa el 75 % de la superficie total de viñedo incluida en la denominación de origen Utiel-Requena. Puesto que hay vestigios de su presencia en la zona desde hace más de dos mil años, se considera que está muy bien adaptada a las condiciones edafoclimáticas de la región.

Como se puede apreciar en la Figura 2, la Bobal es una variedad vigorosa si se satisface su demanda evapotranspirativa potencial (ET_p). No obstante, ello afecta negativamente a su potencial enológico. Se caracteriza por tener un porte semierguído, con hojas grandes de cinco lóbulos de color verde claro con vellosidad alta en su envés. Cerca de su senescencia (agostamiento) cambian su pigmentación tornándose de un característico rojizo-violáceas.

El racimo es de tamaño grande, compacto y de pedúnculo corto. La baya es mediana-grande y redonda, con un hollejo de grosor medio, resistente y muy oscuro. Su pulpa es blanda y sin pigmentación. La fertilidad de sus yemas es alta y da una producción media-alta. Por tanto, se adapta bien a podas cortas. Es muy resistente a la sequía, ya que madura bien en condiciones de estrés hídrico elevado. Cabe destacar que el patrón sobre el que esté injertada modula ligeramente su tolerancia al estrés hídrico así como su capacidad de adaptación a diferentes tipos de suelo. Su ciclo fenológico se considera tardío o medio. Esto propicia que la maduración coincida con las condiciones climatológicas adecuadas para desarrollar enfermedades fúngicas como el oídio y a la botritis.

Figura 2. Imagen de una cepa vigorosa de la variedad Bobal



Sus mostos se caracterizan por tener la acidez más elevada que la mayor parte de las variedades españolas a igualdad de grado alcohólico probable. Produce unos vinos de color cereza oscuro con tonos violáceos muy estables en el tiempo. Su perfil aromático se caracteriza por tener notas a frutos rojos, regaliz, pimienta, tabaco y ligeros tonos herbáceos. Actualmente se están obteniendo buenos resultados en la elaboración de vinos añejados dado su elevado contenido en taninos, como también en la elaboración de rosados frescos y afrutados.

El aporte del riego influye muy positivamente sobre la productividad de la variedad Bobal. En un ensayo de riego realizado por Intrigliolo *et al.* (2014) localizado en Requena se observó que el rendimiento se incrementa de manera casi lineal en respuesta a volúmenes de riego de hasta 150 mm (1.500 m³/ha). Esto se debió, principalmente, al gran incremento del peso de la baya que favorece el estado del viñedo de estrés ligero. El efecto más habitual del riego sobre la composición de los mostos en Bobal es incrementar la acidez total, debido a incrementos en la concentración de ácido málico. Por el contrario, los efectos sobre el pH no son tan concluyentes (Salón *et al.*, 2005). No obstante, el contenido en sólidos solubles totales, la concentración de compuestos fenólicos y de antocianos, así como la intensidad colorante de los vinos resultantes, tiende a disminuir con los volúmenes de riego aportados.

La decisión de una estrategia de riego depende del objetivo productivo pretendido. Por ello, en este capítulo se proponen dos opciones de manejo del riego en Bobal. Ambas consisten en el aprovechamiento del agua de lluvia acumulada en el perfil de suelo durante el otoño-invierno, y se limitan a cubrir parcialmente las necesidades hídricas del viñedo durante los meses de verano.

Con el objetivo productivo de obtener una uva Bobal para vinificación de características enológicas óptimas se recomienda la aplicación de un riego deficitario que, para el ejemplo de la comarca de Utiel-Requena, correspondería a una aplicación anual de 724 m³/ha para un año de climatología media (Tabla 4). Esta estrategia de riego busca maximizar la relación hollejo-pulpa, así como un desarrollo vegetativo y estado fisiológico que posibilite alcanzar la completa madurez fenólica y elaborar vinos de guarda.

Tabla 4. Resumen mensual de los componentes del balance hídrico en un viñedo de Bobal situado en Requena (Valencia) para un año de climatología media con el objetivo de maximizar la calidad

Mes	ET _o (mm)	K _c	ET _c (mm)	P (mm)	Pe (mm)	ET _c -Pe (mm)	Riego goteo (m ³ ha ⁻¹)
Enero	29,9	0,00	0,0	24,4	18,1	0,0	0,0
Febrero	44,3	0,00	0,0	25,9	19,4	0,0	0,0
Marzo	77,4	0,00	0,0	42,6	30,9	0,0	0,0
Abril	104,5	0,00	0,0	48,9	35,4	0,0	0,0
Mayo	139,0	0,00	0,0	45,3	32,4	0,0	0,0
Junio	155,7	0,00	0,0	22,7	5,6	0,0	0,0
Julio	175,2	0,15	26,3	10,3	2,5	23,8	238,8
Agosto	159,0	0,25	39,8	18,9	4,7	35,1	351,8
Septiembre	102,2	0,25	25,6	49,3	12,3	13,3	133,7
Octubre	63,4	0,20	12,7	48,1	32,9	0,0	0,0
Noviembre	36,1	0,00	0,0	42,3	28,1	0,0	0,0
Diciembre	25,2	0,00	0,0	27,9	19,6	0,0	0,0
Total	1.111,7	0,07	104,5	406,6	241,9	72,2	724,3

ET_o: evapotranspiración de referencia; K_c: coeficiente del cultivo; ET_c: evapotranspiración del cultivo; P: precipitación; Pe: precipitación efectiva.

Con el objetivo de maximizar la producción de uva Bobal para vinificación de rosados o vinos de no de guarda, se recomienda la aplicación de un riego deficitario que, para la comarca de Utiel-Requena, correspondería a una aplicación anual de 2.304 m³/ha para un año de climatología media (Tabla 5). Si bien en muchas regiones las concesiones de uso del agua expedidas por el organismo competente no permite la aplicación de dichos volúmenes de riego en vid.

Tabla 5. Resumen mensual de los componentes del balance hídrico en un viñedo de Bobal situado en Requena (Valencia) para un año de climatología media con el objetivo de maximizar la producción

Mes	ET _o (mm)	K _c	ET _c (mm)	P (mm)	Pe (mm)	ET _c -Pe (mm)	Riego goteo (m ³ ha ⁻¹)
Enero	29,9	0,00	0,0	24,4	18,1	0,0	0,0
Febrero	44,3	0,00	0,0	25,9	19,4	0,0	0,0
Marzo	77,4	0,00	0,0	42,6	30,9	0,0	0,0
Abril	104,5	0,15	15,6	48,9	35,4	0,0	0,0
Mayo	139,0	0,25	34,5	45,3	32,4	2,1	21,1
Junio	155,7	0,35	54,6	22,7	5,6	49,0	490,2
Julio	175,2	0,55	96,3	10,3	2,5	93,7	937,8
Agosto	159,0	0,55	87,4	18,9	4,7	82,6	826,9
Septiembre	102,2	0,40	40,9	49,3	12,3	28,6	286,0
Octubre	63,4	0,25	15,7	48,1	32,9	0,0	0,0
Noviembre	36,1	0,15	5,4	42,3	28,1	0,0	0,0
Diciembre	25,2	0,00	0,0	27,9	19,6	0,0	0,0
Total	1.112,0	0,22	350,3	406,6	241,9	256,1	2.304,6

ET_o: evapotranspiración de referencia; K_c: coeficiente del cultivo; ET_c: evapotranspiración del cultivo; P: precipitación; Pe: precipitación efectiva.

5. Técnicas de cultivo para adaptación al cambio climático

En las regiones de clima mediterráneo se practica y desarrolla la viticultura desde hace milenios, adaptándola a las condiciones concretas de cada territorio (*terroir*). La primera adaptación al medio es la utilización de material vegetal local y, la segunda, el empleo de técnicas culturales adecuadas a las condiciones hídricas, edáficas y climáticas. De las dos variedades tintas que se presentan en este capítulo, es la variedad Bobal la que tiene un mayor potencial de adaptación al cambio climático. Esto es debido a que es de ciclo largo y, por tanto, madura en periodos más frescos. Además, presenta los mayores valores de acidez a igualdad de grado alcohólico probable que otras variedades tradicionales. Por el contrario, la variedad Tempranillo, por su precocidad y los elevados niveles de pH de sus mostos, parece la más susceptible al calentamiento global.

De hecho, los incrementos térmicos y modificaciones en el patrón de precipitaciones ya son una realidad en las regiones de clima mediterráneo. Estos cambios climáticos, en climas ya de por sí cálidos y semiáridos, están propiciando que la maduración tecnológica de la uva (azúcares y ácidos orgánicos) ocurra más rápidamente que la síntesis de compuestos fenólicos (flavonoles y compuestos aromáticos), y esto provoca un desequilibrio en los vinos. Las temperaturas elevadas favorecen la rápida concentración de sólidos solubles totales y el catabolismo de los ácidos orgánicos, y ello viene provocando adelantos en la fecha de vendimia en las regiones mediterráneas. Todo ello redundando en vinos tintos de elevado contenido alcohólico, menor color y aroma, y mayor astringencia y amargor (Mira de Orduña, 2010).

Con el objetivo de preservar la tipicidad de las actuales zonas vitivinícolas se plantean técnicas culturales para la adaptación del viñedo al calentamiento global. Las estrategias propuestas van encaminadas a: 1) mitigar los efectos del estrés hídrico de las cepas y mejorar la fertilidad del suelo; 2) equilibrar el ratio desarrollo vegetativo-producción y maximizar la productividad del viñedo manteniendo altos estándares de calidad del mosto y 3) retrasar el ciclo fenológico de la vid para así desplazar los procesos de maduración hacia periodos menos calurosos y reacoplar la maduración tecnológica a la fenólica. En este sentido, el presente capítulo propone las técnicas de acolchado del suelo, deshojado tardío, poda tardía, modificación de la altura de la espaldera, orientación de las filas del viñedo y el forzado de yemas.

Además, todas estas técnicas de adaptación al cambio climático encajan perfectamente en un manejo sostenible del viñedo, e incluso pueden resultar interesantes como técnicas agrícolas para su mitigación. Desgraciadamente, el sector agroalimentario –y concretamente la producción de alimentos–, es uno de los sectores económicos que más emisiones de efecto invernadero emite, y estas van en aumento.

No obstante, la agricultura actúa como fuente y, también, como sumidero de carbono. Técnicas que incrementen la materia orgánica del suelo, como puede ser el uso de acolchados vegetales, supone una interesante estrategia para el secuestro de carbono. Además, esta técnica protege la erosión hídrica y eólica del suelo, así como de la excesiva radiación solar para la microbiota del suelo, lo que podría mejorar la fertilidad y la estructura del suelo. En cualquier caso, el conocimiento en profundidad del agrosistema vitícola y sus interacciones con el medio es la base para el diseño de modelos productivos no solo resilientes ante episodios climáticos extremos, sino con capacidad de

mitigarlo. Sirva como ejemplo la inmensa capacidad de secuestro de carbono que la extensión nacional actual de viñedo (951.201 ha) permitiría, con un incremento del 1 % del contenido de materia orgánica suelo.

5.1. Manejo del suelo y su acolchado

Las técnicas de manejo del suelo son prácticas culturales que tienen por objetivo mejorar las condiciones de cultivo. No obstante, esta definición que parece obvia no siempre se logra, a pesar del empeño que se invierte en dichas operaciones. Estas pueden ser de muy diversa índole, desde el tradicional laboreo en zonas de pluviometrías bajas y estacionales, hasta el no laboreo o la escarda química. El empleo de cubiertas vegetales permanentes o temporales es una práctica de manejo de suelos habitual en viticultura que también puede servir como abono verde. Si bien en regiones semiáridas su empleo ha de coincidir con el periodo de latencia de la vid, requieren de un manejo adecuado para no mermar en exceso las reservas de agua del suelo y así provocar una mayor reducción del vigor del viñedo.

Otras posibles técnicas de manejo del suelo son el acolchado mediante materiales vegetales o plásticos. Estas técnicas van principalmente encaminadas a reducir la evaporación del agua del suelo, más que a mejorar la infiltración del agua de lluvia como las cubiertas de gramíneas. Estudios recientes realizados en la Finca «Las Tiesas», Albacete, en la variedad Tempranillo, cuantificaron que el acolchado orgánico a base de triturado de sarmientos de poda redujo la ET_c de la vid algo más de un 17 %, mientras que un acolchado plástico lo hizo en un 25 % (López-Urrea *et al.*, 2016).

Ser capaces de reducir la evaporación del agua de lluvia, así como mejorar la capacidad de almacenamiento de la misma en el suelo, en un contexto de cambio climático, resulta trascendental para la sostenibilidad del viñedo tal y como lo conocemos. Porque, de hecho, la disponibilidad de agua es el factor más limitante de la productividad del viñedo en condiciones mediterráneas (Jackson y Lombard, 1993). Por ello, si se van cumpliendo las predicciones climáticas para la cuenca mediterránea del grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014), cabe esperar que la producción del viñedo se reduzca debido a los incrementos en la demanda evapotranspirativa, a la reducción en las precipitaciones estivales y a la degradación de suelos.

Por todo ello, el acolchado, o *mulching*, a base de sarmientos de poda triturados parece una técnica interesante para la adaptación del viñedo al siglo XXI (Figura 3). Porque, además, el no aprovechamiento de los restos de poda supone una emisión neta de carbono a la atmósfera si su destino es ser quemado.

Figura 3. Imagen de un viñedo con *mulching* a base de restos de poda de la vid



En ensayos actualmente en curso con la variedad Bobal en la región de Requena se han observado mejoras significativas del estado hídrico del viñedo mediante el uso de *mulching*, e incrementando en la composición polifenólica de la uva. Estos resultados, unidos al ahorro en la eliminación de la flora auxiliar, permiten aconsejar su uso. No obstante, al tratarse de materia orgánica no descompuesta de elevada relación carbono/nitrógeno, los microorganismos del suelo requerirán parte del nitrógeno presente en él para llevar a cabo el proceso de mineralización de los restos de poda. Por ello, es recomendable también completar los requerimientos de nitrógeno del viñedo teniendo en cuenta este aspecto. Una alternativa para la aplicación de los restos de poda de la vid y, a la vez, compensar el incremento en las necesidades de nitrógeno, podría ser su compostaje en pilas abiertas con estiércol previo a su aplicación. Si bien esto reduciría el volumen a aplicar y, por tanto, la capacidad de acolchar

superficie de viñedo. En esta línea se han obtenido muy buenos resultados mediante el compostaje de sarmientos con gallinaza (Matei *et al.*, 2014).

No se recomienda su aplicación en suelos con tendencia a encharcarse y con mal drenaje, pues el *mulching* en forma de paja, el más tradicional, podría provocar asfixia radicular y fomentar el desarrollo de enfermedades fúngicas.

5.2. Deshojado tardío

La técnica de deshojado tiene como objetivo provocar un retraso en la acumulación de azúcares en la uva buscando incrementar la madurez fenólica sin provocar mermas productivas importantes. La técnica se fundamenta en que una reducción del área foliar de la cepa realizada 10 días antes del 50 % de envero, es decir, cuando inicia la fase III de acumulación de azúcares en la baya (10 °Bx aprox.), ralentiza su acumulación y, por tanto, al retrasarse la fecha de vendimia, se propicia que las temperaturas durante la maduración de la uva sean más suaves, lo que permitirá una mayor síntesis de compuestos polifenólicos.

El deshojado ha de realizarse en las hojas superiores al segundo entrenudo tras el último racimo, dejando los ápices intactos (Figura 4). De esta forma, se eliminan las hojas fotosintéticamente más activas y no se inhibe el crecimiento apical. Es una técnica que puede realizarse en cualquier tipo de arquitectura del dosel vegetal, pero que en espaldera vertical es fácilmente mecanizable. Este tipo de deshojado ha dado buenos resultados en Italia con las variedades Sangiovese y Aglianico, donde sin provocar diferencias en el rendimiento del viñedo se redujo el contenido alcohólico del vino manteniendo la concentración de compuestos fenólicos (Poni *et al.*, 2013; Cacciavello *et al.*, 2017). Un resultado muy interesante, dado que el mercado demanda, cada vez más, vinos de baja graduación alcohólica pero bien estructurados.

En un ensayo llevado a cabo en Requena con las variedades Bobal y Tempranillo, se estudiaron durante las campañas de 2014 y 2015 los efectos sobre la productividad de las cepas y la composición de la uva de un manejo de la vegetación en espaldera vertical habitual y del deshojado tardío. El deshojado tardío consistió en eliminar manualmente el 30 % del área foliar total en el estado fenológico 79 en la escala BBCH (Lorenz *et al.*, 1995), es decir, cuando todas las bayas de un racimo se tocan. Las hojas eliminadas fueron tanto del sarmiento principal como de los brotes secundarios. La reducción del área foliar conllevó mejoras en el estado hídrico de las cepas, pero esto no produjo

mejoras productivas. La reducción del 30 % del área foliar en estas variedades tintas españolas, a diferencia de lo observado por otros autores en variedades extranjeras, redujo la producción en casi un 10-20 % y, además, repercutió negativamente en la composición fenólica de la uva. Además, en la variedad Bobal, por ser más tardía que la Tempranillo, no se llegaron a alcanzar los niveles de sólidos solubles totales óptimos para su vendimia antes de que la climatología supusiera un impedimento para la maduración.

Figura 4. Cepas de la variedad Tempranillo bajo la técnica de deshojado tardío



En resumen, la técnica de deshojado tardío puede ser una alternativa para retrasar el ciclo fenológico de la vid y, por tanto, para desplazar los procesos de maduración hacia periodos de temperaturas menos cálidas. Sin embargo, esto por sí solo no reequilibrará la madurez de los mostos si el ratio área foliar/producción es demasiado bajo en condiciones de estrés hídrico moderado. Por tanto, si se decide probar su eficacia en las condiciones semiáridas de clima mediterráneo, se recomienda ajustar el porcentaje de hojas a eliminar en función del estrés hídrico del viñedo.

5.3. Poda tardía

Esta técnica se ha demostrado eficaz en paliar el desequilibrio que se está observando entre la madurez tecnológica y la fenólica en zonas vitícolas de clima mediterráneo a causa del incremento en las temperaturas estivales. Esto se consigue retrasando el ciclo fenológico de la vid y, por tanto, desplazando los procesos de maduración hacia periodos menos calurosos.

La poda tardía consiste en realizar la poda tradicionalmente invernal en primavera. De esta forma, 1) se puede equilibrar la madurez tecnológica y fenólica de la uva y 2) se minimiza el riesgo de daños por heladas primaverales. La poda tardía planteada aquí ha de realizarse en sistemas de poda cortas; puesto que en sistemas de poda tipo Guyot, los retrasos fenológicos provocados serían menos interesantes y el riesgo de sufrir heladas tardías se minimiza con ese tipo de poda debido a su brotación más escalonada. La poda tardía se realiza cuando las yemas que permanecerán en el pulgar alcanzan el estado fenológico de yema de algodón, correspondiente con el 03 de la escala BBCH (Lorenz *et al.*, 1995). Esto corresponderá con el inicio de la expansión de las hojas de las yemas apicales de los sarmientos (12-14 BBCH) (Figura 5).

Figura 5. Detalle del momento de poda tardía



El retraso fenológico que provoca esta técnica en la brotación de las cepas es de aproximadamente 20 días respecto a realizar la poda en invierno. El retraso inicial en número de días se va atenuando a medida que se incrementan la acumulación de grados día (Figura 6). Los retrasos en la fecha de vendimia, si bien dependerán de las diferencias climáticas entre la primera y segunda vendimia, se estiman de una semana como mínimo a igualdad de contenido de azúcares. Este desfase entre vendimias compensa los adelantos en la fecha de recolección que se han observado en los últimos años (García de Cortázar-Atauri *et al.*, 2017). En vendimia son esperables reducciones de la producción de un 10-15 % respecto de la poda invernal. Esto es debido al efecto de la técnica sobre el tamaño del racimo, influido por el menor peso de la baya de las cepas podadas tardíamente. La composición de la uva, sin embargo, tenderá a mejorarse por incrementos significativos en la acidez total pero, principalmente, por los incrementos en la síntesis y concentración de antocianos y polifenoles (para más información pueden consultar el artículo de Buesa *et al.*, 2017). No obstante, si bien esta técnica se viene aplicando con el objetivo de evitar daños por helada, en la actualidad aún está en fase de evaluación para determinar el potencial enológico que las diferencias de composición en la uva otorgarán a sus vinos. Además, también es necesario investigar los posibles efectos acumulativos que la repetición de esta técnica, año tras año, pueda provocar sobre la fertilidad de las yemas y el vigor de las cepas.

Figura 6. Estados fenológicos de botones florales separados en una cepa podada en invierno (izda.) y de racimos visibles en una cepa podada tardíamente (dcha.).



Hay que destacar que la rentabilidad económica de esta técnica depende, en última instancia, del objetivo productivo del viticultor. Es decir, del tipo de vino y nicho de mercado al que se quiera dirigir, puesto que las ligeras mermas productivas que la técnica de poda tardía suele provocar han de verse compensadas por el precio de la uva. Independientemente, la respuesta fisiológica de las variedades Tempranillo y Bobal a la técnica de poda tardía fue estudiada en la región vitícola de Utiel-Requena con resultados positivos en términos de composición. Por tanto, se puede concluir que es una técnica con potencial para la adaptación de la vitivinicultura mediterránea a escenarios futuros, previsiblemente más cálidos y secos que los actuales. No obstante, la continuación del experimento en futuras campañas es imprescindible para confirmar su eficacia.

5.4. Altura de la espaldera

En la vid, el sistema de formación empleado y la arquitectura del dosel vegetal determinan la cantidad de luz interceptada por unidad de área foliar y por los frutos. Esto afecta al consumo de agua y, por lo tanto, al estado hídrico de las cepas, así como a los procesos de maduración de la uva. Bajo un régimen de riego no limitante, parece lógico asumir que una mayor altura de la espaldera puede incrementar la capacidad de las cepas para producir fotoasimilados, lo que podría aumentar la cosecha final.

Sin embargo, como habitualmente ocurre en la viticultura para vinificación, el riego deficitario y una mayor elevación de la espaldera pueden inducir un mayor estrés hídrico al viñedo. Existen estudios sobre el ratio de área foliar/producción óptimo para maximizar la producción y asegurar la correcta maduración de la uva (Kliewer y Dokoozlian, 2005), aunque estos a su vez dependen del estado hídrico del viñedo. Adicionalmente, en el contexto de cambio climático, donde la demanda evapotranspirativa predicha aumenta y el régimen pluviométrico cambia, es probable que los niveles de estrés del viñedo se incrementen.

Pretendiendo desentrañar estas cuestiones, se estudió la respuesta agronómica y la calidad final de la uva que provoca una mayor altura de la vegetación en condiciones de riego deficitario en la variedad Tempranillo cultivada en la zona de Utiel-Requena. Las alturas de vegetación estudiadas fueron «Normal», o no elevada (representativa de los viñedos de la zona), y «Alta», o elevada, consistiendo en aproximadamente 1,0 y 1,4 m de altura vertical,

respectivamente. Los niveles de carga de racimos fueron similares en ambas alturas de espaldera para las dos campañas. Los resultados del estudio mostraron que el incremento de la altura de vegetación supuso un aumento del 28 % del área foliar y, por consiguiente, un aumento del estrés hídrico (potencial hídrico de tallo de 0,3 a 0,1 MPa más negativo). Como consecuencia, las cepas con altura de vegetación elevada redujeron la producción en un 10 %. Esta reducción de rendimiento se debió al menor peso del racimo originado por el menor peso de la baya. No obstante, en la composición de sus mostos incrementó la concentración de sólidos solubles totales y la de antocianos, aunque disminuyó la acidez total y de la concentración de ácido málico y tartárico. El contenido en polifenoles totales y taninos no se vio alterado.

A la luz de estos resultados, en condiciones de riego deficitario y poda cordón Royat bilateral, solo se recomienda la vegetación elevada para la producción de vinos de alta gama, donde la pérdida de rendimiento podría ser compensada por una cierta mejora de calidad de la uva. No obstante, la reducción de la acidez ha de tenerse en cuenta, pues puede conllevar una pérdida importante del potencial enológico de la uva.

La espaldera alta también podría suponer una alternativa de manejo de vegetación para adoptarse en viñedos con problemas habituales de sanidad de la uva (botritis, mildiu, oídio, etc.), pues reduce la compacidad del dosel vegetal y, por tanto, mejora la aireación y propicia una mayor exposición a la luz de los racimos.

5.5. Orientación de las filas del viñedo

Desde el punto de vista de la conservación del suelo, la orientación de las filas de los viñedos debería ser la contraria a la dirección de máxima pendiente del terreno. No obstante, el criterio que suele emplearse es buscar la orientación que minimiza los cambios de dirección del tractor. Sin embargo, en aquellos casos de terrenos relativamente planos y amplias extensiones podrían emplearse indiferentemente orientaciones de las filas norte-sur o este-oeste.

En ensayos realizados con la variedad Bobal en condiciones controladas de maceta se ha comprobado que la orientación de las filas este-oeste puede reducir el consumo de agua en un 12 % sin efectos negativos sobre la calidad de la uva.

Por lo tanto, en aquellos casos en los que pueda resultar indiferente la orientación de las filas de espaldera, se podría llevar a cabo una plantación en dirección este-oeste buscando minimizar la intercepción de radiación solar y así mitigar los efectos de la escasez de agua y falta de precipitaciones. Además, esta orientación puede mejorar la resistencia física de la espaldera a los vientos predominantes en la comarca de Utiel-Requena (Levante o Poniente) y ayudar a retrasar la maduración de la uva.

5.6. Forzado de yemas

La técnica consiste en realizar una poda en verde severa tras la floración, estado fenológico 79 en la escala BBCH (Lorenz *et al.*, 1995) (Figura 7), momento en el que las yemas del año siguiente ya se han diferenciado. De esta manera se fuerza la brotación de las yemas formadas esa misma campaña y se retrasa todo el ciclo fenológico. Esto propicia que la maduración ocurra en condiciones significativamente más frescas y acople mejor la madurez tecnológica y la fenólica de las uvas, mejorando notablemente la calidad del vino.

Figura 7. Ciclo del forzado de la vid



Los resultados de un ensayo actualmente en marcha con la variedad Tempranillo han demostrado que, mediante un forzado de yemas, es posible incrementar notablemente el color y la carga polifenólica de la uva, incrementando la acidez y disminuyendo el pH, todo ello en comparación a los de uvas con un manejo convencional y para niveles de sólidos solubles totales similares. Sin embargo, la producción final de las cepas se reduce muy considerablemente y, además, el forzado tiene efectos acumulativos sobre la fertilidad de las cepas incluso un año después de su realización. Por lo tanto, dicha técnica de cultivo solo puede recomendarse para la producción de uva destinada a vinos de gran calidad y alto valor comercial.

6. Conclusiones

Las técnicas de manejo integral del viñedo propuestas suponen una alternativa para la adaptación de la vitivinicultura mediterránea al cambio climático. En un contexto de escasez de recursos hídricos e incrementos en la evapotranspiración del cultivo, prácticas agronómicas como el riego deficitario, la modificación de la orientación de las filas de espaldera o su altitud pueden mejorar la eficiencia en el uso de agua y la sostenibilidad de la vitivinicultura mediterránea. Además, prácticas de manejo del suelo y su acolchado pueden incrementar la resiliencia del sistema vitícola y resultar efectivas en la mitigación del cambio climático. Para hacer frente a los efectos negativos del calentamiento global en la calidad de la uva y el vino, técnicas agronómicas como el deshojado tardío, la poda tardía o el forzado de yemas han mostrado su potencial de mitigación. No obstante, la implementación de estas técnicas depende de la viabilidad económica de su puesta en práctica, lo que está supeditado en gran medida al margen de beneficio potencial de los vinos resultantes.

Agradecimientos

Los conocimientos transferidos mediante la redacción de este capítulo son el resultado de investigaciones actualmente financiadas por el Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, a través del proyecto FEDER «NITROGRAPE» con código AGL2017-83738-C3-3-R y cofinanciados por el contrato de investigación suscrito entre Cajamar Caja Rural y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas «Uso eficiente del agua en escenarios de cambio climático».

Referencias bibliográficas

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. y SMITH, M. (1998): «Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56»; *Rome* 300(9). FAO; pp. D05109.
- BUESA, I.; PÉREZ, D.; YEYES, A.; SANZ, F.; CHIRIVELLA, C. e INTRIGLIOLO, D. S. (2017): *Efectos agronómicos y enológicos de la poda tardía en Bobal y Tempranillo*. Grandes cultivos.com.
- CACCAVELLO, G.; GIACCONE, M.; SCOGNAMIGLIO, P.; FORLANI, M. y BASILE, B. (2017): «Influence of intensity of post-veraison defoliation or shoot trimming on vine physiology, yield components, berry and wine composition in Aglianico grapevines»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* 23(2); pp. 226-239.
- FERERES, E. y SORIANO, M. A. (2007): «Deficit irrigation for reducing agricultural water use»; *Journal of Experimental Botany* 58(2); pp. 147-159.
- GARCÍA ESCUDERO, E.; SANTAMARÍA, P.; LÓPEZ, R. y PALACIOS, I. (1991): «Aplicación de dosis moderadas de agua en el proceso de maduración del cv. Tempranillo en Rioja»; *Vitivinicultura* 2(1); pp. 30-34.
- GARCÍA DE CORTÁZAR-ATAURI, I.; DUCHÊNE, É.; DESTAC, A.; BARBEAU, G.; DE RESSÉGUIER, L.; LACOMBE, T.; PARKER, A. K.; SAURIN, N. y VAN LEEUWEN, C. (2017): «Grapevine phenology in France: from past observations to future evolutions in the context of climate change»; *OENO One* 51(2); pp. 115-126.
- GIRONA, J.; MARSAL, J.; MATA, M.; DEL CAMPO, J. y BASILE, B. (2009): «Phenological sensitivity of berry growth and composition of Tempranillo grapevines (*Vitis vinifera* L.) to water stress»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* (15); pp. 268-77.
- INTRIGLIOLO, D. S.; PUERTO, H.; ÁLVAREZ, I.; GARCÍA-ESPARZA, M. J.; CHIRIVELLA, C.; LIZAMA, V. y RUIZ-CANALES, A. (2014): «Efectos del riego sobre la producción y la calidad de la uva y del vino en la variedad Bobal en Utiel-Requena»; *Enoviticultura* (31); pp. 92-100.
- IPCC (2014): «Climate Change 2014: Synthesis Report»; en Pachauri, R. K. y Meyer, L. A., eds.: *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team*. Suiza, Génova, IPCC; pp. 151.

- JACKSON, D. I. y LOMBARD, P. B. (1993): «Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-A review»; *Am. J. Enol. Vitic.* 44; pp. 409-30.
- KLIEWER, W. M. y DOKOOZLIAN, N. K. (2005): «Leaf Area/Crop Weight Ratios of Grapevines: Influence on Fruit Composition and Wine Quality»; *American Journal of Enology and Viticulture* 56(2); pp. 170-181.
- LÓPEZ-URREA, R.; MONTORO, A.; MARTÍNEZ, L.; MAÑAS, F.; SÁNCHEZ, J. M. e INTRIGLIOLO, D. S. (2016): «¿Es posible mejorar la eficiencia en el uso del agua de un viñedo mediante un acolchado orgánico del suelo?»; *XXXIV Congreso Nacional de Riegos*. Sevilla.
- LORENZ, D. H.; EICHHORN, K. W.; BLEIHOLDER, H.; KLOSE, R.; MEIER, U. y WEBER, E. (1995): «Growth Stages of the Grapevine: Phenological growth stages of the grapevine (*Vitis vinifera* L. ssp. *vinifera*)-Codes and descriptions according to the extended BBCH scale†»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* 1(2); pp. 100-103.
- MATEI, P. M.; SÁNCHEZ BÁSCONES, M.; MARTÍN-VILLULLAS, M.; DIEZ-GUTIÉRREZ, M. y GARCÍA-GONZÁLEZ, M. (2014): «Eficiencia del compostaje de sarmientos de vid mediante pilas abiertas como metodode higienización»; *IV Jornadas de la Red Española de Compostaje. De Residuo a Recurso: Estrategias de gestión tratamiento y valorización en el Horizonte 2020*; pp. 156-160.
- MORATIEL, R.; DURÁN, J. y SNYDER, R. L. (2010): «Responses of reference evapotranspiration to changes in atmospheric humidity and air temperature in Spain»; *Climate Research* 44(1); pp. 27-40.
- MIRA DE ORDUÑA, R. (2010): «Climate change associated effects on grape and wine quality and production»; *Food Research International* 43(7); pp. 1844-1855.
- PONI, S.; GATTI, M.; BERNIZZONI, F.; CIVARDI, S.; BOBEICA, N.; MAGNANINI, E. y PALLIOTTI, A. (2013): «Late leaf removal aimed at delaying ripening in cv. Sangiovese: physiological assessment and vine performance»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* 19(3); pp. 378-387.
- SALÓN, J. L.; CHIRIVELLA, C. y CASTEL, J. R. (2005): «Response of cv. Bobal to timing of deficit irrigation in Requena, Spain: water relations, yield, and wine quality»; *American Journal of Enology and Viticulture* 56(1); pp. 1-8.
- SCHULTZ, H. R. y JONES, G. V. (2010): «Climate induced historic and future changes in viticulture»; *Journal of Wine Research* 21(2-3); pp. 137-145.

- YEYES, A.; PÉREZ, D.; RISCO, D.; INTRIGLIOLO, D. S. y CASTEL, J. R. (2011): «Obtención de una pauta de riego optima en la variedad Tempranillo en Utiel-Requena»; *Vida Rural* (325); pp. 42-46
- WILLIAMS, L. E. y MATTHEWS, M. A. (1990): «Grapevine»; en STEWART, B. A. y NIELSEN, D. R., eds.: *Irrigation of agricultural crops. Agronomy monograph* (30). EEUU, Madison, American Society of Agronomy; pp. 1019-1055.

Desafíos del regadío español frente al cambio climático y consecuencias para el viñedo

Martín Ruiz-Rodríguez, Manuel Pulido-Velázquez y Alberto García-Prats

Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente (IAMA)
y Universitat Politècnica de València

Resumen/Abstract

El regadío español se enfrenta al gran reto de regar más con menos agua. Según las últimas investigaciones, la productividad agrícola en la región mediterránea podría verse seriamente perjudicada por efecto del calentamiento del sistema climático. Para hacer frente a sus impactos, los agricultores requerirán aplicar dosis de riego más frecuentes y abundantes, incrementando la presión y competitividad por unos recursos hídricos que ya comienzan a escasear en muchas regiones del territorio español, y con perspectivas decrecientes tanto en cantidad como en calidad. El sector vitivinícola español, que está experimentando una clara transformación de secano a regadío durante las últimas décadas, no será ajeno a este desafío. La introducción de nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia en la gestión del riego está siendo una de las medidas más prometedoras en España. Sin embargo, todo apunta a que será necesario promover actuaciones adicionales y mejorar en la gobernanza del agua para poder afrontar el gran reto que supone el cambio climático para los regadíos españoles.

.....

Spanish irrigated agriculture faces a great challenge: to irrigate more with less water. According to the latest research, agricultural productivity in the Mediterranean region may be seriously affected by global warming. To cope with its impacts, farmers will require to apply more frequent and abundant irrigation water. This fact will increase pressure and competition for natural water resources, which are already scarce in many regions of the territory and show decreasing trends in both quantity and quality. Spanish viticulture sector, which is undergoing a clear transformation from rain-fed to irrigated agriculture during last decades, will not be unaware of this challenge. The introduction of new technologies to improve irrigation management efficiency is emerging as one of the most promising measures in Spain.

However, additional actions and improved water governance will be needed to face up the great dare that climate change implies for Spanish irrigated agriculture.

1. Introducción

Desde hace más de ocho mil años, el ser humano ha utilizado el regadío para reducir la volatilidad de la producción agrícola y mejorar la seguridad alimentaria frente a la variabilidad climática. Ante la necesidad de alimentar a una población mundial que crece rápidamente, la superficie regada se ha expandido drásticamente desde mediados del siglo XX a nivel mundial, favorecida por el desarrollo tecnológico y un fuerte apoyo financiero, lo que ha propiciado un gran incremento en la productividad agrícola. Según las estimaciones más recientes, el regadío produce alrededor del 40 % de la producción alimentaria mundial, ocupando únicamente el 20 % de la superficie cultivada (unos 300 millones de hectáreas). Este avance ha sido fundamental para sustentar el gran progreso socioeconómico acontecido durante las últimas décadas, al igual que será clave para hacer frente a los retos alimentarios del futuro. Sin embargo, esta política ha supuesto una intensificación del consumo agrícola de agua, al que ya se destinan cerca del 70 % de la extracción mundial de agua dulce, poniendo en jaque la sostenibilidad del regadío en muchas regiones del planeta (Turrall *et al.*, 2011).

La evolución del regadío español es un claro reflejo de esta situación. Introducido en la península por fenicios, cartagineses y griegos, perfeccionado gracias a la influencia de romanos y musulmanes, e impulsado durante el período ilustrado, el regadío español vivió su época dorada durante el siglo XX. Gracias a una política hidráulica pionera en el mundo y un enorme despliegue de obras hidráulicas de promoción pública, se produjo una gran expansión de la superficie regable en España, que pasó de apenas un millón de hectáreas a principios del siglo XX, a los más de tres millones y medio existentes en la actualidad. Esta implantación de nuevos regadíos de promoción estatal fue un éxito desde el punto de vista económico. Sin embargo, ha incrementado enormemente la presión sobre las masas de agua naturales, llevando a algunas cuencas españolas a una situación límite en cuanto a la disponibilidad de recursos hídricos, no compatible en muchos casos con la estrategia europea de protección de las aguas plasmada en la Directiva Marco del Agua (DMA) (Berbel y Gutierrez-Martin, 2017).

El cómo planificar y gestionar unos recursos hídricos escasos de forma que se sustente el bienestar social y el crecimiento económico, sin comprometer el estado medioambiental de las masas de agua ni el desarrollo de las futuras generaciones, y garantizando el cumplimiento de las directrices de la DMA, se ha convertido en uno de los grandes retos del siglo XXI para la planificación hidrológica española, a los que se suma una nueva preocupación: los efectos del cambio climático.

2. Impactos del cambio climático en los recursos hídricos de las cuencas españolas

Según refleja el último informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2014), la región mediterránea será una de las zonas más afectadas por el calentamiento del sistema climático. Las proyecciones anticipan un incremento de la temperatura media mayor en la región mediterránea que en el resto del mundo, así como un descenso significativo de las precipitaciones anuales medias, convirtiéndola en una región mucho más seca y cálida, especialmente durante la estación estival. Asimismo, este informe afirma que, con alta seguridad, se incrementará la duración e intensidad de las sequías meteorológicas (períodos con precipitación por debajo de la media) en la región, generando un gran impacto sobre los recursos hídricos.

Recientemente, el Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) ha realizado una evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos de las cuencas españolas utilizando estos mismos escenarios del IPCC y un amplio conjunto de proyecciones climáticas procedentes de diferentes modelos regionalizados (CEH, 2017). En este análisis se concluye que, actualmente, existe una enorme incertidumbre acerca de los cambios en la precipitación que se producirán en España por efecto del calentamiento del sistema climático, aunque en términos medios se prevé una tendencia decreciente con una reducción en el conjunto de España que podría alcanzar el 4 % a corto plazo (2010-2040), el 8 % a medio plazo (2040-2070) y el 14 % a largo plazo (2070-2100) respecto al período de control (1961-2000) en el escenario de concentración de gases efecto invernadero (GEI) más desfavorable (RCP 8.5). En cuanto a su distribución, se espera que la reducción de precipitaciones sea más intensa a corto plazo en el sureste español (Comunidad Valenciana, Murcia y Andalucía) y archipiélagos, mientras que a medio y largo plazo esta reducción se acentuará en toda la mitad oeste, interior y zona sur de la pe-

nínsula, afectando especialmente a la zona cantábrica, Castilla-La Mancha, Extremadura, Andalucía y archipiélagos (CEH, 2017).

Respecto a la evolución de las temperaturas, en este caso la tendencia es claramente creciente para todo el territorio español, pudiendo alcanzar un incremento de más de 1 °C a corto plazo, y alrededor de 2,5 y 4 °C a medio y largo plazo, respectivamente, para el escenario más desfavorable. El aumento de las temperaturas provocará un incremento de la evaporación y de la transpiración de la vegetación. Según el análisis del CEH, en términos medios se espera un crecimiento de la evapotranspiración potencial (ETP), definida como la máxima evaporación y transpiración que se puede producir sin limitación de agua, que alcanzará valores del 4 %, 10 % y 17 % a corto, medio y largo plazo, respectivamente, en el conjunto de España. En este caso, las zonas más afectadas por el incremento de la ETP coincidirán con regiones de alta actividad vitivinícola, como son Castilla y León, Castilla-La Mancha y La Rioja (CEH, 2017).

El efecto combinado de una menor precipitación y una mayor evapotranspiración supondrá un impacto amplificado del cambio climático en los recursos hídricos naturales, tanto superficiales como subterráneos. Según el análisis del CEH, todas las proyecciones climáticas apuntan a que se producirá una reducción generalizada de los recursos hídricos naturales en el conjunto de España, con descensos de los recursos fluyentes para todo el territorio del 7 %, 14 % y 24 % a corto, medio y largo plazo, respectivamente, en el escenario de emisiones más desfavorable. En este caso, las demarcaciones del Júcar y el Segura son las más afectadas, con reducciones que superan el 20 % a medio plazo, y cercanas al 40 % a largo plazo, seguidas de las demarcaciones del Guadiana, Guadalquivir y cuencas andaluzas, con reducciones del 15 % y 30 % a medio y largo plazo, respectivamente, para el escenario más desfavorable. En las demarcaciones del Tago, Duero y Ebro el descenso en los recursos superficiales podría alcanzar el 15 % a medio plazo y el 25 % a largo plazo. Como resultado, estas proyecciones apuntan a que en las cuencas españolas se vivirán sequías hidrológicas, períodos donde la disponibilidad de recursos hídricos se sitúa por debajo de la media, más intensas de manera más frecuente (CEH, 2017).

Estudios recientes, con mayor grado de detalle, confirman esta tendencia en el sistema de explotación del Júcar, donde ya existe un frágil equilibrio entre los recursos disponibles y las demandas, y en el que se prevé un severo impacto del cambio climático. Marcos-García y Pulido-Velázquez (2017)

estiman una reducción media del 20 % a corto plazo, y superior al 30 % a medio plazo en la escorrentía total del sistema de explotación del Júcar respecto a la serie histórica de aportaciones (1940/41-2008/09). Estas reducciones son incluso superiores a las obtenidas en CEH (2017) para la demarcación del Júcar (11 % y 24 %, respectivamente). En este estudio se demuestra que el descenso en las subcuencas de cabecera del Júcar (Alarcón y Contreras), que aportan la mayor parte de los recursos regulados del sistema, podría ser significativamente mayor que el de las zonas bajas, superando el 40 % a medio plazo. Partiendo de esta investigación Marcos-García *et al.* (2017) señalan que, según los pronósticos, se vivirán períodos más intensos y severos de sequía meteorológica e hidrológica en la cuenca del Júcar a corto y medio plazo. Sin embargo, ambos estudios recalcan que existe una gran incertidumbre sobre los resultados asociada a la dispersión de los modelos climáticos, lo que aconseja que la planificación hidrológica se oriente a conseguir sistemas más robustos y flexibles.

Respecto a las aguas subterráneas, Pulido-Velázquez *et al.* (2015) analizan los efectos de escenarios de cambio climático y cambios en el uso del suelo en el acuífero de La Mancha Oriental. Este estudio llega a la conclusión de que en los escenarios analizados existe una cierta tendencia decreciente en los niveles del acuífero, aunque sin ser clara debido a la existencia de ciclos crecientes y decrecientes asociados a cambios en la recarga, junto con una tendencia claramente creciente en los niveles de nitratos. Esas tendencias se producen por el efecto combinado del descenso en la recarga resultado del cambio climático, el incremento de la extracción de agua y el lixiviado de nitratos procedentes de las prácticas agrícolas.

Aunque pueda parecer un escenario excesivamente alarmante, lamentablemente la tendencia observada en la península ibérica durante las últimas décadas ha sido consistente con estas previsiones. Según las observaciones de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), el crecimiento de la temperatura media en España es inequívoco, especialmente a partir de 1970, donde la temperatura media en la península y Baleares ha crecido a un ritmo medio de unos 0,35 grados centígrados por década. En cuanto a las precipitaciones, desde el año hidrológico 1980/81 la península ibérica vive un período de déficit pluviométrico excepcional, conocido como «el efecto 80», especialmente severo en las cabeceras de los ríos Tago, Júcar, Segura y Guadalquivir (Témez, 2004). La precipitación anual media en España en el período 1980-2009 ha sido casi un 9 % inferior a la del período 1940-1979, mientras que en la cabe-

cera de la cuenca del Júcar esta reducción pluviométrica llega al 12 % (Estrela *et al.*, 2012).

De Luis *et al.* (2010), analizando los cambios producidos en la estacionalidad de las precipitaciones durante el período 1946-2005, llega a la conclusión de que en los últimos 30 años se está produciendo una subtropicalización del clima de la península, con un descenso generalizado de las precipitaciones en invierno, primavera y verano, pero con un ligero incremento en otoño, que ha pasado a ser la estación dominante en gran parte del territorio. Marcos-García y Pulido-Velázquez (2017) han observado claramente las mismas tendencias en las subcuencas de cabecera del río Júcar para el período 1971-2007, junto con un incremento generalizado de las temperaturas. Según este mismo estudio, las tendencias no son tan evidentes para las subcuencas más bajas y próximas al litoral, y por lo general los cambios observados han sido menos pronunciados en estas zonas.

Este descenso en las precipitaciones, junto con aspectos socioeconómicos como el aumento de la demanda y los cambios en los usos del suelo, ha propiciado que durante los últimos 60 años se haya producido un gran descenso en los caudales anuales, invernales y primaverales, en la mayor parte de las subcuencas de la península ibérica, especialmente en las cuencas del Tajo, Júcar, Segura, Guadiana y Guadalquivir. Además, cabe destacar que este descenso se ha observado por igual en cuencas reguladas y no reguladas, por lo que parece que la alteración hidrológica y la forma de gestionar el agua no influyen en el sentido de las tendencias observadas, lo que es coherente con la hipótesis de su posible origen climático, aunque sí contribuyen a acentuar su intensidad (Lorenzo-Lacruz *et al.*, 2012).

Las aportaciones naturales medias en los dos principales embalses de la cuenca del Júcar (Contreras y Alarcón) en el período 1980/81-2010/11 han descendido un 40 % respecto al período 1940/41-1979/80. Según las investigaciones de Pérez-Martín *et al.* (2013), el 85 % de este descenso se justifica por la reducción en las precipitaciones derivada del «efecto 80». La situación de los acuíferos españoles tampoco es nada halagüeña, ya que más de la mitad de las masas subterráneas se encuentran en mal estado cuantitativo o cualitativo, principalmente debido al gran incremento en las extracciones de aguas subterráneas, que han aumentado un 30 % entre 1980 y el año 2000 (Berbel y Gutiérrez-Martín, 2017).

Tal y como señalan algunos autores, conviene ser cautos a la hora de asociar estos fenómenos al calentamiento del sistema climático, ya que la pe-

nínsula ibérica ha sufrido déficit pluviométricos severos equivalentes en otros períodos donde la temperatura ambiental era mucho más fría que la actual (Témez, 2004). No obstante, el período de recurrencia de estas sequías también parece haberse alterado. A partir de la recopilación de sequías históricas publicada por el CEH (CEH, 2013), se ha estimado que entre principios del siglo XVI y mediados del siglo XX se han venido produciendo sequías generalizadas en España de impactos importantes con un período de recurrencia medio de entre 20 y 40 años. Tras la sequía de finales de la primera mitad del siglo XX, España ha vivido un período de relativa abundancia hídrica hasta los años 80. Desde entonces y hasta la actualidad, se vive un periodo de escasez generalizada en España, donde en apenas 40 años se han producido cuatro sequías importantes: 1980-85, 1992-95, 2004-08, y la que actualmente atravesamos desde el año 2014, lo que invita a pensar que el período de recurrencia de estas sequías generalizadas podría estar reduciéndose.

La corta disponibilidad de datos hidrológicos observados y la dificultad de aislar los efectos hidrológicos de origen climático respecto de los de origen antrópico, no permiten extraer afirmaciones concluyentes que relacionen estos fenómenos con el incremento de las temperaturas. Este hecho, junto con la alta variabilidad en los resultados de los modelos climáticos, genera una alta incertidumbre acerca de cómo y cuánto afectará el calentamiento del sistema climático a los recursos hídricos. No obstante, el paralelismo entre las proyecciones y los cambios observados en España durante los últimos años nos invita a situarnos en el peor de los pronósticos, por lo que esta incertidumbre no debe servir de excusa para la inacción en la lucha contra el cambio climático (mitigación) y en la preparación (adaptación) frente a la más que probable severidad de sus impactos en los recursos hídricos de las cuencas españolas y en el conjunto de servicios que proporcionan.

3. Consecuencias para el regadío en España

Según un análisis de la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (Magrama) dentro del marco del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), se espera que este fenómeno afecte de forma negativa a la productividad del sector agrario español, aunque sus impactos serán variables para las diferentes zonas climáticas y cultivos (Medina, 2015).

El aumento de la demanda evapotranspirativa de los cultivos provocada por las mayores temperaturas, junto con el detrimento de las precipitaciones, supondrá un incremento del estrés hídrico de los cultivos que tenderá a disminuir los rendimientos de las cosechas en prácticamente todo el territorio. De hecho, las repercusiones de las últimas sequías dan fe de ello. La de 1992-95 causó una gran pérdida de superficie de herbáceos, y en algunos casos el arranque y pérdida de cultivos leñosos, junto con una gran merma en los rendimientos y calibres de las producciones. Estos efectos supusieron un gran impacto socioeconómico por pérdida de renta, pérdida de puestos de trabajo y, en ocasiones, pérdidas de cuotas de mercado difíciles de recuperar. En la sequía de 2004-2008 no se registró un descenso significativo de las superficies, pero de nuevo se produjeron mermas importantes en las producciones, sobre todo en los cultivos de secano, observándose una caída del PIB del sector agrario (CHJ, 2017). La extrema sequedad del pasado año hidrológico 2016/17 está teniendo de nuevo un severo impacto en los rendimientos agrícolas, provocando por ejemplo una reducción del 70 % en la producción de cereales en la demarcación del Duero (CHD, 2017).

En un escenario de mayor estrés de los cultivos, inevitablemente se generará un incremento de la demanda de agua de riego por parte de los agricultores, que tratarán de minimizar el impacto de la falta de lluvias en los rendimientos de sus cosechas. Por una parte, debido a que muchas superficies de secano, sobre todo en la zona interior, tenderán a la aplicación de riegos suplementarios o a la transición a regadío para seguir siendo productivas. Asimismo, las superficies que ya están en regadío requerirán aplicar dosis de riego más abundantes y frecuentes para evitar una caída importante de los rendimientos. La mayor demanda de agua de riego incrementará la presión sobre los recursos hídricos naturales, aumentando el riesgo de que la falta de lluvias (sequía meteorológica) acabe derivando en un agotamiento de las reservas hídricas de los sistemas de explotación (sequía hidrológica), e intensificando los impactos del cambio climático en la disminución de los recursos superficiales y subterráneos en las cuencas españolas (Iglesias y Garrote, 2015).

Por otra parte, una menor disponibilidad de recursos hídricos en las cuencas puede poner en riesgo la garantía de abastecimiento a las poblaciones, prioritaria respecto al uso agrícola según la Ley de Aguas, o el cumplimiento de los requisitos medioambientales mínimos, establecidos como restricción al resto de usos en los planes de cuenca. Por tanto, es previsible que en situaciones de extrema escasez hídrica se produzcan restricciones importantes

al abastecimiento de los regadíos, como ha venido sucediendo en las sequías más recientes, provocándoles mermas en las producciones y sus consecuentes repercusiones socioeconómicas. Un estudio reciente cifra las pérdidas de producción generadas por las restricciones al uso agrícola de agua en 2007 en los regadíos de la Ribera del Júcar en 153 millones de euros (40 % respecto 2004), y en 23 millones de euros (18 % respecto 2004) para los regadíos del Canal Júcar-Turía (López-Nicolás *et al.*, 2017).

Por tanto, el cambio climático produce un efecto amplificador similar al que supone la combinación de la reducción en las precipitaciones y el incremento de la evapotranspiración potencial en la reducción de los aportes hídricos naturales. La mayor demanda de riego para saciar el creciente déficit hídrico de los cultivos, junto con la menor disponibilidad de recursos naturales para hacerles frente, y más teniendo en cuenta la prioridad de los usos urbanos y medioambientales, provocarán un impacto amplificado del cambio climático en la reducción de las garantías de suministro a los regadíos, y consecuentemente en la caída de los rendimientos (Garrote *et al.*, 2015). Esto se evidencia, por ejemplo, en un análisis reciente en el sistema Júcar, donde se estima que las pérdidas económicas generadas por la falta de garantía a los regadíos se incrementarán en más de un 75 % a corto plazo (2011-2040) y se multiplicarán por 2,5 a medio plazo (2041-2070) respecto el período histórico (1980-2012) en un escenario de cambio climático severo (RCP 8.5), impactos relativos sensiblemente más elevados que los observados en precipitación o disponibilidad de recursos hídricos en esta misma cuenca (López-Nicolás, 2017).

La necesidad de abastecer una creciente demanda potencial de agua de riego con unos recursos hídricos naturales cada vez más escasos será sin duda alguna uno de los principales retos del sector agrícola español en la lucha contra el cambio climático. Para minimizar sus impactos sobre la reducción de la producción agrícola, cuyas perspectivas son realmente alarmantes para algunas regiones del territorio español, será necesario desarrollar urgentemente medidas de adaptación, que involucren desde la gestión del agua a escala cuenca hasta las prácticas agrícolas a nivel de parcela.

4. Perspectivas para el sector vitivinícola

La importancia socioeconómica del sector vitivinícola español, junto con su gran vulnerabilidad frente a los extremos climáticos, han generado que

durante los últimos años exista una creciente preocupación acerca de cuáles serán los impactos del cambio climático en este sector. La práctica totalidad de las investigaciones realizadas al respecto apuntan a que los cambios en los patrones de los fenómenos climáticos extremos, originados por el calentamiento del sistema climático, ocasionarán alteraciones en la calidad de la uva y en los rendimientos de la vid, e incrementarán la variabilidad interanual de las producciones en gran parte del territorio.

De entre estos riesgos, la disminución de las precipitaciones aparece como uno de los factores de cambio con más impacto en la disminución de los rendimientos (Resco *et al.*, 2016). De hecho, los rendimientos del viñedo (t/ha) cayeron en torno a un 40 % en la sequía de 1995 y casi un 10 % en la sequía de 2005-2008, respecto a un período sin sequía (2001-2004), en las principales provincias de la demarcación del Júcar, que engloban casi un 20 % de la superficie vitivinícola del país (CHJ, 2017).

Frente a estos escenarios, una de las tendencias más destacadas para minimizar el impacto del déficit pluviométrico en los rendimientos de producción de los viñedos españoles será la transición a sistemas de regadío (Costa *et al.*, 2016). Numerosas investigaciones en varias regiones del planeta han demostrado que la aplicación de riegos suplementarios mejora la cantidad y la calidad de las producciones vitivinícolas (Steduto *et al.*, 2012). Resco *et al.* (2016) señalan que debido a los impactos del cambio climático será necesario aplicar riegos suplementarios para mantener la calidad de las producciones en los viñedos del valle del Ebro, la zona interior, y la zona sur y sureste de la península, o incluso obligatorio en algunos casos.

De hecho, esta tendencia ya se está observando durante las dos últimas décadas. En España, utilizando datos de la Encuesta de Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE), la superficie vitivinícola en regadío ha pasado de ocupar menos de 250 mil hectáreas y representar un 21 % del total, a ocupar más de 340 mil hectáreas y representar casi el 36 % durante la última década (2004-2014) (Costa *et al.*, 2016). En Castilla-La Mancha, la región de mayor densidad vitivinícola del mundo, la superficie de viñedo en regadío se ha multiplicado por 6,5 entre 1993 y 2005, pasando de representar un 2,5 % del total a representar más del 18 % (Ruiz Pulpón, 2010). En las principales provincias de la demarcación del Júcar (Albacete, Alicante, Cuenca, Castellón, Teruel y Valencia), la superficie vitivinícola en regadío se ha multiplicado por 10 entre 1995 y 2015, pasando de representar un 5,5 % del total a casi el 30 % (CHJ, 2017).

La tendencia a un mayor uso del regadío, junto con el incremento en las necesidades de riego por efecto del cambio climático, producirá un incremento generalizado de la demanda de agua del sector vitivinícola. Sin embargo, la situación límite en cuanto a reservas de recursos hídricos renovables, especialmente en las cuencas del sur y sureste de la península, y las proyecciones decrecientes en cuanto a su disponibilidad para todo el territorio español por efecto del cambio climático, dificultarán las capacidades para hacer frente con garantías a esta creciente demanda. Por tanto, es previsible que la productividad del sector vitivinícola también se vea seriamente afectada por los impactos del cambio climático y la reducción de recursos hídricos naturales. Es por ello que será imprescindible impulsar desde el sector vitivinícola español medidas de adaptación que permitan mantener la alta calidad y productividad del mismo frente a la escasez hídrica, contribuyendo a garantizar su sostenibilidad económica y ambiental en las próximas décadas.

5. Estrategias de adaptación de los regadíos frente al cambio climático

Aunque el cambio climático y la creciente escasez de recursos hídricos naturales suponen un gran reto para la agricultura de regadío de la región española, en general, y para el sector vitivinícola, en particular, existen un gran número de actuaciones y medidas de adaptación disponibles que han demostrado su efectividad para hacerles frente (Iglesias y Garrote, 2015; Costa *et al.*, 2016). Sin embargo, la gran parte de estas medidas presentan una serie de obstáculos que dificultan o limitan su aplicación. Asimismo, la gran complejidad de los fenómenos hidrológicos y los sistemas de recursos hídricos, donde conviven numerosos usuarios e intereses (a menudo contrapuestos), junto con la alta incertidumbre asociada a los fenómenos meteorológicos y los efectos del calentamiento del sistema climático, dificultan el proceso de selección de las medidas o estrategias de adaptación más adecuadas y aceptadas.

Para resolver esta cuestión, la investigación de Girard *et al.* (2015) propone una metodología que combina los enfoques *top-down*, o de arriba a abajo —con la que se caracterizan los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y demandas a escala local a partir de los escenarios globales—, y *bottom-up*, o de abajo a arriba —en la que se trabaja con los principales usuarios y agentes de la cuenca mediante métodos participativos para enriquecer la

caracterización de los impactos locales, identificar las principales medidas de adaptación frente a esos impactos y valorar su grado de aceptación—.

Recientemente se ha aplicado esta metodología de trabajo con los principales regantes, agentes implicados (hidroeléctricas, abastecimientos urbanos, asociaciones ambientalistas, expertos universitarios, etc.) y gestores de la cuenca del Júcar (principalmente la Confederación Hidrográfica y la Administración autonómica). Esta cuenca está caracterizada por unas previsiones de reducción de recursos hídricos bastante severas por efecto del cambio climático, y es bastante representativa de la situación general de las cuencas españolas al contar con un gran uso agrícola del agua (80 % del total). En estos talleres participativos, además de identificar las principales medidas de adaptación y valorar su aceptación, se ahondó en definir cuáles son los principales obstáculos para su implantación, y en su grado de relevancia o priorización respecto al resto de medidas (Ortega-Reig *et al.*, 2017; iAgua, 2017).

Como resultado de estos talleres, la modernización del regadío apareció como la medida mejor valorada frente a los retos del cambio climático en la cuenca, con un gran apoyo tanto de los gestores como de los regantes, aunque no exenta de alguna crítica. Asimismo, ambos grupos coincidieron en que es necesario mejorar la gobernanza del agua, especialmente en relación con la revisión del sistema concesional y la participación pública en la gestión. La experiencia de las últimas sequías pone en evidencia que los mecanismos de gestión (ej. Comisión Permanente de Sequías, planes especiales de sequía) son claves para reducir los impactos de las mismas (Carmona *et al.*, 2017).

El uso de políticas de precios también tuvo un grado de aceptación bastante elevado entre los principales gestores de la cuenca; sin embargo, sufrió cierto rechazo por parte de los regantes, lo que demuestra que uno de los principales obstáculos frente a esta medida es la falta de apoyo social. Las medidas de oferta de recursos no convencionales, fundamentalmente reutilización directa de aguas residuales y desalación de agua de mar, fueron medidas que recibieron un grado de apoyo medio tanto por los principales agentes y gestores como por los regantes, siendo sus altos costes de explotación y de producción del agua su gran limitación. De entre ambas, la reutilización recibió un apoyo notablemente superior a la desalación.

Sin embargo, otros instrumentos económicos como los mercados del agua fueron ampliamente rechazados, tanto por los regantes como por los agentes principales de la cuenca del Júcar, así como los trasvases de agua entre cuencas, ambos debido a la conflictividad política y social que conllevan. Otras

medidas de gestión de la demanda, como pueden ser el desarrollo y fomento de variedades menos demandantes de agua, fueron señaladas por los agricultores como medidas de adaptación destacables, aunque no fueron abordadas en el taller con los principales agentes y gestores de la cuenca (Ortega-Reig *et al.*, 2017; iAgua, 2017).

6. Modernización del regadío, la principal medida de adaptación frente al cambio climático en España

La promoción de tecnologías que permitan una gestión más eficiente del uso de agua en el regadío, comúnmente conocida como la modernización del regadío, está emergiendo como una de las principales herramientas para afrontar el desafío mundial de producir más alimentos con menos agua (Perry y Steduto, 2017). La fe en su potencial para incrementar la productividad del agua de riego y racionalizar su uso, la convierten en una medida que, «a priori», permitirá reducir los impactos del cambio climático en la producción agrícola, frenar la sobreexplotación de las masas de agua y liberar recursos para otros usos. Esto ha favorecido un apoyo institucional y financiero prácticamente unánime por parte de las administraciones y entidades implicadas, y una aceptación social muy elevada por parte de los agricultores, como se ha podido constatar en los talleres participativos llevados a cabo en el Júcar (Ortega-Reig *et al.*, 2017; iAgua, 2017) y otras regiones del mediterráneo (Girard *et al.*, 2015).

De hecho, España ha apostado muy fuerte por esta política durante los últimos años. Gracias a un gran apoyo financiero procedente de fondos públicos y un fuerte esfuerzo económico realizado por los agricultores, el regadío español ha pasado de utilizar tradicionalmente sistemas de transporte y riego por gravedad, que requieren mayor carga de trabajo y son menos eficientes en el transporte y aplicación del agua de riego, a utilizar mayoritariamente sistemas de transporte presurizados y riego localizado en parcela (riego por goteo), que permiten un uso más preciso y eficiente del agua. El riego por goteo ha pasado de apenas utilizarse en un 5 % de toda la superficie regada en España a comienzos de los 90, a más de un 35 % en 2005, hasta llegar al 55 % de la superficie de regadío en la actualidad (2015) (AQUASTAT), aunque en regiones del sureste español esta proporción es incluso mayor: 68 % en la Comunidad Valenciana, 82 % en la Región de Murcia y 72 % en la zona de Almería, Granada y Málaga (Sanchis-Ibor *et al.*, 2018).

Gracias a esta transición, España se ha posicionado como un referente mundial en el uso de esta tecnología, siendo el tercer país del mundo en hectáreas totales con riego localizado a pesar de ocupar el puesto 15 en superficie total regada, y solo por detrás de China y la India, que cuentan con una superficie regada muy superior a la española (ICID, 2017). Además, todo apunta a que, tras el parón financiero que supuso la crisis económica, la modernización de regadíos seguirá siendo en los próximos años una de las actuaciones principales de las administraciones españolas y autonómicas en materia de aguas. De hecho, es una de las líneas prioritarias de actuación para hacer frente a la complicada situación de sequía que se espera durante el año 2018 (MAPAMA, 2018).

Las primeras impresiones acerca de este proceso reflejan que, gracias a la modernización, el uso de agua del regadío español se ha reducido significativamente, concretamente en más de un 10 % en la última década (casi 2.000 hm³) a pesar de haberse incrementado la superficie regada en un 7 % en ese mismo período (MAGRAMA, 2015). Las últimas investigaciones acerca de sus efectos indican que, en términos generales, la modernización ha permitido reducir el agua extraída por las comunidades de regantes, junto con otros beneficios como son la reducción en las cantidades de abonado, menor vertido de lixiviados al medio natural, la transición a cultivos de mayor valor, y la mejora de la calidad de vida de los agricultores (Berbel y Gutierrez-Martin, 2017). Asimismo, recientes investigaciones a escala parcela en la Acequia Real del Júcar han demostrado que la transición de un riego por gravedad a un riego localizado en cultivos leñosos (en este caso cítricos) permite reducir el uso de agua en más de un 20 % y, aun así, incrementar los rendimientos de los cultivos (kg/ha) en más de un 25 % (Ruiz-Rodriguez *et al*, 2017).

Mientras continúa la instalación del riego por goteo en los regadíos tradicionales de la península, los regadíos modernizados o de más reciente implantación, que ya cuentan con sistemas de riego presurizados, están abordando nuevas actuaciones que buscan mejorar la eficiencia con la que gestionan sus instalaciones, proceso que ha sido bautizado como la modernización de segunda generación. En este caso, las actuaciones de segunda generación se centran en la automatización y digitalización de la gestión de las infraestructuras de riego mediante la incorporación de tecnologías de la información y la comunicación (TIC), como son los sistemas de telecontrol y monitorización (SCADA), sistemas soporte a la decisión (SSD), sistemas de información geográfica (GIS), servicios de asesoramiento al regante, y aplicaciones web. El uso de estas

tecnologías está contribuyendo a mejorar la eficiencia con la que usuarios y administradores gestionan el agua en los regadíos (Soto-García *et al.*, 2013).

Asimismo, la modernización de segunda generación está incorporando el uso de sensores, herramientas de teledetección, e incluso *software* de simulación en la gestión del riego en parcela, con el objetivo de monitorizar aspectos como datos climáticos, humedad en el suelo y estrés del cultivo, y realizar un riego de precisión que optimice la productividad de los recursos utilizados en función de estas variables. Utilizando la nomenclatura del sector de las comunicaciones, estas tecnologías se podrían englobar bajo el término sistemas de riego inteligente (*Smart Irrigation Systems*). Una de las técnicas de *Smart Irrigation* más interesantes frente a los impactos del cambio climático es el denominado riego deficitario controlado (RDC), que consiste básicamente en aplicar un riego menor a la demanda potencial del cultivo, sometiéndolo a períodos de estrés hídrico controlados en aquellos momentos en los que el impacto en la producción es menor, induciendo incluso mejoras en la calidad en determinadas estrategias. El uso de sensores térmicos y teledetección para controlar el estrés de los cultivos y realizar un RDC es una de las líneas más prometedoras para minimizar los impactos de la escasez hídrica en el sector vitivinícola, permitiendo no solo mantener la calidad de las producciones, sino incluso incrementarla. Recientes investigaciones sobre la aplicación de esta técnica en viñedos han concluido que los ahorros de agua pueden oscilar entre el 15 y el 48 %, dependiendo de la estrategia adoptada y del impacto en la cosecha asumido (García-Tejero *et al.*, 2016; Buesa *et al.*, 2017).

Sin embargo, los grandes beneficios de las actuaciones de modernización de regadíos tienen un precio, y es que, además de los altos costes de amortización de la inversión inicial, en la mayoría de casos la modernización ha supuesto un gran incremento en los costes de operación y explotación de las comunidades de regantes y, en definitiva, un gran incremento en las tarifas de riego asumidas por los agricultores, que puede llegar incluso a comprometer la viabilidad económica de algunas explotaciones (García-Molla *et al.*, 2014). En la modernización de primera generación, este incremento de los costes se genera principalmente a consecuencia de pasar de un sistema de riego por gravedad, que no requiere consumo energético, a un sistema de riego presurizado, que generalmente requiere de un consumo de energía importante para impulsar el agua.

Frente a este impacto, las actuaciones de segunda generación, además de buscar una mejor gestión del agua, tratan de mejorar la gestión de la energía

y reducir los costes de operación de las comunidades de regantes. Entre estas medidas destacan la realización de auditorías energéticas, y la puesta en marcha de actuaciones y medidas de gestión de las instalaciones con criterios de optimización de la eficiencia energética y el coste energético (Jiménez-Bello *et al.*, 2015). Por otra parte, la incorporación de energías renovables para autoconsumo en el regadío, especialmente la energía fotovoltaica, podría ser de utilidad para paliar el incremento en los costes energéticos de las comunidades de regantes modernizadas, además de contribuir a mitigar las emisiones de GEI. Por este motivo, durante los últimos años está siendo una de las medidas más apoyadas por las administraciones en materia de regadíos, junto con las actuaciones de mejora de la eficiencia hídrica y energética.

Otro de los aspectos que limita a la modernización de los regadíos como medida de adaptación frente el cambio climático en la agricultura es la falta de consenso acerca de si esta medida es realmente efectiva a la hora de reducir la presión sobre los recursos hídricos naturales a nivel de cuenca, tal y como plantea un reciente informe de la FAO tras analizar varios casos de estudio en todo el mundo (Perry y Steduto, 2017). Por una parte, esto se debe a lo que se conoce como la paradoja de la escala. Solo una parte del agua de riego transportada y aplicada en parcela es consumida por el cultivo de forma productiva, o consumida por evaporación de forma no productiva. El resto del agua de riego se pierde por drenaje superficial o subterráneo, y aunque no es aprovechada por el cultivo, realmente no desaparece de la cuenca y acaba retornando a otras masas de agua superficial o subterránea donde puede ser reutilizada por otros usuarios o puede tener una función ambiental. A esta fracción se le denomina comúnmente como retornos de riego.

Al modernizar y mejorar la eficiencia de riego, se consigue reducir el agua a extraer para satisfacer las necesidades del cultivo, gracias principalmente a una reducción en las pérdidas por drenaje (Ruiz-Rodríguez *et al.*, 2017). Sin embargo, esta reducción disminuye las aportaciones hídricas a las masas de agua que reciben los retornos de riego. Esta paradoja genera que los ahorros de agua a escala cuenca que se producen como consecuencia de una actuación de modernización de regadíos, teniendo en cuenta la afección sobre todas las masas de agua de la cuenca, son habitualmente mucho menores a lo que se reduce la extracción de agua por parte del usuario modernizado.

Las únicas estimaciones en España acerca de los ahorros reales a escala cuenca evidencian que, efectivamente, los ahorros netos generados por las actuaciones de modernización de regadíos han sido muy inferiores, incluso

del orden de una cuarta parte, de lo que se han reducido las extracciones de las comunidades de regantes modernizadas (Sanchis-Ibor *et al.*, 2018). En los talleres participativos en la cuenca del Júcar, este fenómeno estuvo presente y generó debate entre representantes del parque natural de l'Albufera de València y de los regadíos tradicionales de la ribera del Júcar, ya que la modernización de estos regadíos está suponiendo una reducción en las aportaciones hídricas que recibe el parque, las cuales proceden en gran parte de las ineficiencias en el transporte y aplicación de las aguas de riego. Para minimizar este efecto, el plan de cuenca establece que, tras finalizar la modernización de los regadíos tradicionales del Júcar, una parte de los recursos ahorrados por la menor extracción de agua de estos regadíos se enviarán como caudal ambiental al lago de l'Albufera cuando no se alcancen sus requerimientos hídricos mínimos (CHJ, 2015).

Por otra parte, algunas investigaciones recientes han evidenciado que la modernización de regadíos puede dar lugar a lo que se conoce como paradoja de Jevons o efecto rebote. En esta paradoja, identificada por primera vez por Jevons en la industria del carbón, la introducción de una tecnología que permite mejorar la eficiencia en el uso de un recurso, incrementa también la rentabilidad de utilizarlo, e induce a una mayor demanda del mismo. Como consecuencia del incremento en la demanda, la mejora de la eficiencia produce paradójicamente un incremento en el uso total del recurso a pesar de que su uso por unidad de producción es menor.

En el caso de la modernización de regadíos, este fenómeno se asocia a la utilización total o parcial de los ahorros de agua generados por la mejora de la eficiencia del riego para incrementar la superficie regada o para introducir cultivos más intensivos. Autores como Berbel *et al.* (2015), WWF (2015) o el propio Perry y Steduto (2017) han identificado este fenómeno en varios proyectos de modernización de regadíos en España. Aunque estas prácticas, por lo general, no han supuesto incrementos en las extracciones de agua al estar limitadas por la concesión administrativa, o al imponerse reducciones tras la modernización, sí que suponen generalmente un incremento de la fracción consumida del agua extraída. Por efecto de la paradoja de escala, este fenómeno podría derivar en una menor disponibilidad de recursos a nivel global en la cuenca, aunque se mantengan las extracciones a nivel local, tal y como evidencian Ward y Pulido-Velázquez (2008) en un caso de estudio en la cuenca del Río Grande (EEUU-México).

7. Conclusiones

La creciente escasez hídrica por la que atraviesa gran parte del territorio español, a la que se suman unos escenarios de cambio climático que apuntan a un más que probable empeoramiento de la situación, suponen un auténtico desafío para la agricultura de regadío. El sector vitivinícola, que necesitará del agua de riego para paliar el impacto del déficit pluviométrico en la producción y calidad de sus cosechas, no será ajeno a este desafío.

Las medidas de oferta clásicas, como son los embalses, los trasvases y la extracción de aguas subterráneas, parecen estar agotando su viabilidad técnica, económica y ambiental en muchas regiones del territorio español. Por tanto, las medidas de adaptación necesarias para hacer frente a esta situación pasan por una mejor gestión de la demanda (modernización y mejora de la eficiencia hídrica, variedades menos consumidoras, mejor gobernanza, etc.), introducir instrumentos económicos (política de precios, subvenciones y mercados del agua) o recurrir a medidas de oferta no convencionales (reutilización y desalación de aguas). Entre estas medidas, la modernización de regadíos ha sido y está siendo una de las actuaciones prioritarias en España, en gran medida debido al alto grado de aceptación y apoyo por parte de administraciones y usuarios.

Durante las últimas décadas, las modernizaciones en España se han centrado principalmente en actuaciones de primera generación, cuyo objetivo ha sido modernizar las infraestructuras de transporte de agua e instaurar sistemas de riego presurizados, en especial riego por goteo. Esto ha permitido aumentar la eficiencia del riego y reducir las extracciones agrícolas de agua, aunque por lo general han supuesto un gran incremento de los costes energéticos y tarifas de riego. Recientemente, en paralelo a la finalización de las actuaciones de primera generación en los regadíos tradicionales, las superficies ya modernizadas abordan actuaciones de segunda generación que están permitiendo introducir sistemas de riego inteligentes y TIC con el objetivo de automatizar y digitalizar la gestión del riego, e incrementar la eficiencia con la que se utilizan el agua, la energía y otros recursos en los regadíos. Todo apunta a que el uso de estas nuevas tecnologías será esencial en el corto y medio plazo para que el regadío se adapte a los escenarios de mayor escasez de agua, en especial en un sector de alto valor añadido y tan sensible a la escasez hídrica como es el vitivinícola. Las últimas investigaciones acerca del uso de tecnologías como el RDC en viñedos están demostrando su efectividad no solo para incrementar

la productividad del agua utilizada y fomentar su ahorro, sino incluso para mejorar la calidad de las producciones.

Sin embargo, el camino hacia una gestión más eficiente del agua de riego podría perjudicar indirectamente a algunos usuarios o ecosistemas y generar ahorros de agua a nivel de cuenca mucho menores a los previstos, e incluso podrían llevar paradójicamente a una mayor intensificación del consumo de agua por el denominado efecto rebote.

Aunque no hay duda de que la modernización será fundamental para garantizar la sostenibilidad futura de los regadíos españoles, para poder hacer frente al gran reto que supone el cambio climático para los recursos hídricos y la gran variedad de servicios que proporcionan, estas actuaciones podrían no ser suficientes y deberán complementarse con otras medidas de adaptación, tanto de iniciativa pública como privada, junto con una adecuada gobernanza que vele por los intereses de todos los usuarios del agua, presentes y futuros.

Referencias bibliográficas

- BERBEL, J.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, C.; RODRÍGUEZ-DÍAZ, J. A.; CAMACHO, E. y MONTESINOS, P. (2015): «Literature Review on Rebound Effect of Water Saving Measures and Analysis of a Spanish Case Study»; *Water Resources Management* 29(3); pp. 663-678; en <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0839-0>.
- BERBEL, J. y GUTIÉRREZ-MARTÍN, C. (2017): «Efectos de la modernización de regadíos en España»; *Serie Economía* (30). Almería, Cajamar Caja Rural.
- BUESA, I.; PÉREZ, D.; CASTEL, J.; INTRIGLIOLO, D. y CASTEL, J. R. (2017): «Effect of deficit irrigation on vine performance and grape composition of Vitis vinifera L. cv. Muscat of Alexandria: Effect of seasonal viner water stress on water use»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* 23(2); pp. 251-259.
- CARMONA, M.; MÁÑEZ COSTA, M.; ANDREU, J.; PULIDO-VELÁZQUEZ, M.; HARO-MONTEAGUDO, D.; LOPEZ-NICOLAS, A. y CREMADES, R. (2017): «Assessing the effectiveness of Multi-Sector Partnerships to manage droughts: The case of the Jucar river basin»; *Earth's Future* (5); pp. 750-770; doi:10.1002/2017EF000545.

- CEH (2013): «Elaboración y mantenimiento de un sistema de indicadores hidrológicos y estudio para la identificación y caracterización de sequías»; *Catálogo y publicación de sequías históricas. Informe técnico para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*. Madrid, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- CEH (2017): «Evaluación del Impacto del Cambio Climático en los Recursos Hídricos y Sequías en España (2015-2017)»; *Informe técnico para el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*. Madrid, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).
- CHD (2017): «Plan Especial de Sequía. Demarcación Hidrográfica del Duero»; *Borrador para consulta pública*. Valladolid, Confederación Hidrográfica del Duero.
- CHJ (2015): «Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar»; *Ciclo de planificación hidrológica 2015-2021*. Valencia, Confederación Hidrográfica del Júcar.
- CHJ (2017): «Plan Especial de Sequía. Demarcación Hidrográfica del Júcar»; *Borrador para consulta pública*. Valencia, Confederación Hidrográfica del Júcar.
- COSTA, J. M.; VAZ, M.; ESCALONA, J.; EGIPTO, R.; LOPES, C.; MEDRANO, H. y CHAVES, M. M. (2016): *Modern viticulture in southern Europe: Vulnerabilities and strategies for adaptation to water scarcity*.
- DE LUIS, M.; BRUNETTI, M.; GONZALEZ-HIDALGO, J. C.; LONGARES, L. A. y MARTIN-VIDE J. (2010): «Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946-2005»; *Global and Planetary Change* (74); pp. 27-33.
- ESTRELA, T.; PÉREZ-MARTÍN, M. A. y VARGAS, E. (2012): «Impacts of climate change on water resources in Spain»; *Hydrological Sciences Journal* 57(6); 1154-1167.
- GARCÍA MOLLA, M.; ORTEGA REIG, M. V.; SANCHIS IBOR, C. y AVELLA REUS, L. F. (2014): «The effects of irrigation modernization on the cost recovery of water in the Valencia Region (Spain)»; *Water Science and Technology: Water Supply* 14(3); pp. 414-420; doi:10.2166/ws.2013.215.
- GARCÍA-TEJERO, I. F.; COSTA, J. M.; EGIPTO, R.; DURÁN-ZUAZO, V. H.; LIMA, R. S. N.; LOPES, C. M. y CHAVES, M. M. (2016): «Thermal data to monitor crop-water status in irrigated Mediterranean viticulture»; *Agricultural Water Management* (176); pp. 80-90.

- GARROTE, L.; IGLESIAS, A.; GRANADOS, A.; MEDIERO, L. y MARTIN-CARRASCO, F. (2015): «Quantitative Assessment of Climate Change Vulnerability of Irrigation Demands in Mediterranean Europe»; *Water Resources Management* (29); pp. 325-338. doi: 10.1007/s11269-014-0736-6.
- GIRARD, C.; PULIDO-VELÁZQUEZ, M.; RINAUDO JD.; PAGE, C. y CABALLERO, Y. (2015): «Integrating top-down and bottom-up approaches to design global change adaptation at the river basin scale»; *Global Environmental Change* (34); pp. 132-146. doi: 10.1016/j.gloenvcha.2015.07.002.
- GÓMEZ-LIMÓN, J. A. (2014): «La agricultura de regadío en el contexto de la nueva PAC»; en BARDAJÍ, I., coord.: «Reflexiones en torno a la PAC»; *Serie Economía* (22); pp. 109-140. Almería, Cajamar Caja Rural.
- IAGUA (2017): *¿Cuáles son las medidas claves para la adaptación al cambio climático de la cuenca del Júcar?* Disponible en: <https://www.iagua.es/noticias/espana/iiama/17/10/03/cuales-son-medidas-claves-adaptacion-al-cambio-climatico-cuenca-jucar>. Último acceso: febrero de 2018.
- ICID (2017): *Agricultural Water Management for Sustainable Rural Development: Annual Report 2016-17*. New Delhi, International Commission on Irrigation and Drainage (ICID).
- IGLESIAS, A. y GARROTE, L. (2015): «Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe»; *Agricultural Water Management* 155; pp. 133-124. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.03.014>.
- IPCC (2014): «Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change»; En Pachauri, R. K. y Meyer, L. A., eds.: *Core Writing Team*. Suiza, Génova, IPCC.
- JIMÉNEZ-BELLO, M. A.; ROYUELA, A.; MANZANO, J.; PRATS, A. G. y MARTÍNEZ-ALZAMORA, F. (2015): «Methodology to improve water and energy use by proper irrigation scheduling in pressurised networks»; *Agricultural Water Management* (149); pp. 91-101; doi: 10.1016/j.agwat.2014.10.026.
- LÓPEZ-NICOLÁS, A.; PULIDO-VELÁZQUEZ, M. y MACIAN-SORRIBES, H. (2017): «Economic risk assessment of drought impacts on irrigated agriculture»; *Journal of Hidrology* (550); pp. 580-589.

- LÓPEZ-NICOLÁS, A. (2017): «Métodos y herramientas de evaluación y diseño de instrumentos económicos para gestión de sequías y adaptación al cambio climático»; *Tesis doctoral*. Valencia, Universitat Politècnica de València.
- LORENZO-LACRUZ J.; VICENTE-SERRANO, S. M.; LÓPEZ-MORENO, J. I.; MORÁN-TEJEDA, E. y ZABALZA, J. (2012): «Recent trends in Iberian streamflows (1945-2005)»; *Journal of Hydrology*; pp. 414-415 y 463-475.
- MAGRAMA (2015): «Aumenta la superficie regada en España pero se mantiene una tendencia a la baja en el volumen de agua de riego utilizado en el sector agrario». Nota de prensa. Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- MAPAMA (2018): «El Subsecretario de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente presenta los resultados de las medidas adoptadas por la sequía en 2017 y las líneas de trabajo previstas para 2018»; Nota de prensa. Madrid, Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente.
- MARCOS-GARCÍA, P. y PULIDO-VELÁZQUEZ, M. (2017): «Cambio climático y planificación hidrológica: ¿es adecuado asumir un porcentaje único de reducción de aportaciones para toda la demarcación?»; *Ingeniería del agua [S. I.]* 21(1); pp. 35-52. ISSN 1886-4996.
- MARCOS-GARCÍA, P.; LÓPEZ-NICOLÁS, A. y PULIDO-VELÁZQUEZ, M. (2017): «Combined use of relative drought indices to analyze climate change impact on meteorological and hydrological droughts in a Mediterranean basin»; *Journal of Hydrology* (554); pp. 292-305.
- MEDINA MARTÍN, F. (2015): «Impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en el sector agrario: Aproximación al conocimiento y prácticas de gestión en España»; Madrid, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Oficina Española de Cambio Climático.
- ORTEGA-REIG, M.; GARCÍA-MOLLÁ, M.; SANCHIS-IBOR, C.; MARCOS-GARCÍA, P.; GIRARD, C.; PULIDO-VELÁZQUEZ, M. y RUIZ-RODRÍGUEZ, M. (2017): «Estrategias de adaptación de la agricultura al cambio global. Aplicación de métodos participativos en la cuenca del Júcar»; XI Congreso de la Asociación Española de Economía Agraria. España, Elche-Orihuela.

- PÉREZ-MARTÍN, M.; THURSTON, W.; ESTRELA, T. y DEL AMO, P. (2013): «Cambio en las series hidrológicas de los últimos 30 años y sus causas. El efecto 80»; *III Jornadas de Ingeniería del Agua (JIA). La protección contra los riesgos hídricos*. Valencia.
- PERRY, C. y STEDUTO, P. (2017): «Does Improved Irrigation Technology Save Water? A review of the evidence»; *Discussion paper on irrigation and sustainable water resources management in the Near East and North Africa*. Roma, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO).
- PULIDO-VELÁZQUEZ, M.; PEÑA-HARO, S.; GARCÍA-PRATS, A.; MOCHOLI-ALMUDEVER, A. F.; HENRIQUEZ-DOLE, L.; MACIÁN-SORRIBES, H. y LÓPEZ-NICOLÁS, A. (2015): «Integrated assessment of the impact of climate and land use changes on groundwater quantity and quality in Mancha Oriental (Spain)»; *Hydrol. Earth Syst. Sci.* (19); pp. 1677-1693. Disponible en <http://dx.doi.org/10.5194/hess-19-1677-2015>.
- PULPÓN, A. R. R. (2010): «Evolución y consolidación del viñedo de regadío en La Mancha»; *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* (52); pp. 5-26.
- RESCO, P.; IGLESIAS, A.; BARDAJI, I. y SOTES, V. (2016): «Exploring adaptation choices for grapevine regions in Spain»; *Regional Environmental Change* 16(4); pp. 979-993; doi: 10.1007/s10113-015-0811-4.
- RUÍZ-RODRÍGUEZ, M.; PULIDO-VELÁZQUEZ, M.; JIMÉNEZ-BELLO, M. A.; MANZANO, J.; SANCHÍS-IBOR, C.; LÓPEZ-NICOLÁS, A. y GARCÍA-MOLLÁ, M. (2017): «Comparativa agroeconómica de parcelas de cítricos modernizadas y no modernizadas en la Acequia Real del Júcar (Valencia)». XI Congreso de la Asociación Española de Economía Agraria. Elche-Orihuela, España.
- SANCHÍS-IBOR, C.; PULIDO-VELÁZQUEZ, M.; MACIÁN-SORRIBES, H.; MARCOS-GARCÍA, P.; GARCÍA-MOLLÁ, M. y RUÍZ-RODRÍGUEZ, M. (2018): «Uso intensivo del agua en la agricultura en cuencas mediterráneas: aspectos económicos e hidrológicos»; en GARRIDO, A., ed.: *El uso del agua en la agricultura mediterránea*. Almería, Cajamar Caja Rural.
- SOTO-GARCÍA, M.; MARTÍNEZ-ÁLVAREZ, V.; GARCÍA-BASTIDA, P. A.; ALCON, F. y MARTÍN-GÓRRIZ, B. (2013): «Effect of water scarcity and modernisation on the performance of irrigation districts in south-eastern Spain»; *Agricultural Water Management* (124); pp. 11-19. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.03.019>.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; FERERES, E. y RAES, D. (2012): *Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua*. Roma, Food and agriculture organization of the United nations (FAO).

TÉMEZ, J. R. (2004): «El período seco 1980-1995. Su rareza y efectos en el sureste español»; *Revista de Obras Públicas* (3.448).

TURRAL, H.; BURKE, J. y FAURÈS, J. M. (2011): *Climate change, water and food security*. Roma, Food and agriculture organization of the United nations (FAO).

WARD, F. A. y PULIDO-VELÁZQUEZ, M. (2008): «Water conservation in irrigation can increase water use»; *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(47); pp. 18215-18220. Disponible en <https://doi.org/10.1073/pnas.0805554105>.

WWF (2015): *Modernización de Regadíos. Un mal negocio para la naturaleza y la sociedad*. Madrid, WWF España.

Adaptación del material vegetal y efectos sobre las enfermedades de la madera

Josep Armengol^a y David Gramaje^b

^aUniversitat Politècnica de València (UPV)

^e ^bInstituto de Ciencias de la Vid y del Vino (ICVV) - Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Gobierno de La Rioja, Universidad de la Rioja

Resumen/Abstract

Las enfermedades fúngicas de la madera de la vid (EFMV) representan una de las principales amenazas para la sostenibilidad de este cultivo, causando importantes pérdidas económicas en todo el mundo debido a la reducción de los rendimientos que provocan, al incremento en los costes de manejo por la necesaria introducción de diferentes prácticas preventivas de control, y al acortamiento de la vida útil de los viñedos. Cualquier modificación de las condiciones ambientales tiene un efecto determinante sobre la biología de los patógenos de los cultivos, influyendo drásticamente tanto en el inicio como en el desarrollo de las enfermedades. En este sentido, en este capítulo se revisa el conocimiento actual sobre la epidemiología de las EFMV, el efecto del cambio climático en su incidencia y las medidas estratégicas a aplicar para mitigar sus efectos negativos. Este conocimiento es fundamental para entender qué posibilidades ofrecen las medidas actualmente disponibles para el manejo de las EFMV en vivero y en el viñedo, así como para proponer nuevas estrategias de futuro, que se adapten a los retos que el cambio climático presenta para la viticultura a nivel mundial.

.....

Fungal grapevine trunk diseases represent one of the main threats to the sustainability of this crop, causing important economic losses worldwide due to reduced yields, the increase in management costs by the necessary introduction of different preventive control measures, and shorten life span of the vineyards. Any modification of environmental conditions have an important effect on the biology of crop pathogens, drastically influencing both the onset and the development of diseases. In this sense, this chapter reviews the current knowledge on the epidemiology of the fungal grapevine trunk diseases, the effect of climate change on its

incidence and the strategic measures to be applied to mitigate their negative effects. This knowledge is essential to understand what possibilities are currently available for the management of these diseases in the nursery and in the vineyard, as well as to propose new strategies for the future, adapted to the challenges that climate change presents for viticulture worldwide.

1. Importancia y descripción de las enfermedades de la madera

Actualmente, la idea de que las enfermedades fúngicas de la madera de la vid (EFMV) representan una de las principales amenazas para la sostenibilidad de dicho cultivo está ampliamente aceptada. Estas enfermedades están causando importantes pérdidas económicas en todo el mundo, debido a la reducción de los rendimientos que provocan, al incremento en los costes de manejo del cultivo por la necesaria introducción de diferentes prácticas preventivas de control, y al acortamiento de la vida útil de los viñedos (Bertsch *et al.*, 2012; De la Fuente *et al.*, 2016; Gramaje *et al.*, 2018).

Las EFMV, descritas ya a finales del siglo XIX, aunque conocidas desde mucho antes, atacan principalmente los órganos perennes de la vid. Todas ellas tienen en común que causan alteraciones internas de la madera de la planta que pueden ser de dos tipos: necrosis o pudrición seca. Estos síntomas internos se corresponden con síntomas externos, no específicos, que podemos observar en las plantas afectadas, tanto en plantaciones jóvenes como en viñedos adultos: reducción del desarrollo y menor vigor, ausencia o retraso de la brotación de las plantas, acortamiento de entrenudos, clorosis en hojas y/o marchitez, decaimiento general y muerte de las vides (Gramaje y Armengol, 2011; Bertsch *et al.*, 2012; Luque *et al.*, 2014a; Gramaje *et al.*, 2018).

El aumento de la incidencia de las EFMV detectado en las dos últimas décadas en todo el mundo se cree que es la consecuencia de varios factores de especial relevancia que han afectado al desarrollo de la viticultura en este período. En primer lugar, el gran número de nuevas plantaciones que se realizaron durante la década de 1990 en todo el mundo, que tuvo como principal consecuencia un aumento en el movimiento de material de propagación potencialmente contaminado. En segundo lugar, los numerosos cambios en los métodos de producción que han favorecido enormemente la infección por hongos, como la transformación de viñedos tradicionales de baja densidad a plantaciones en espaldera, con poda mecánica y producción intensiva. Y, finalmente, en

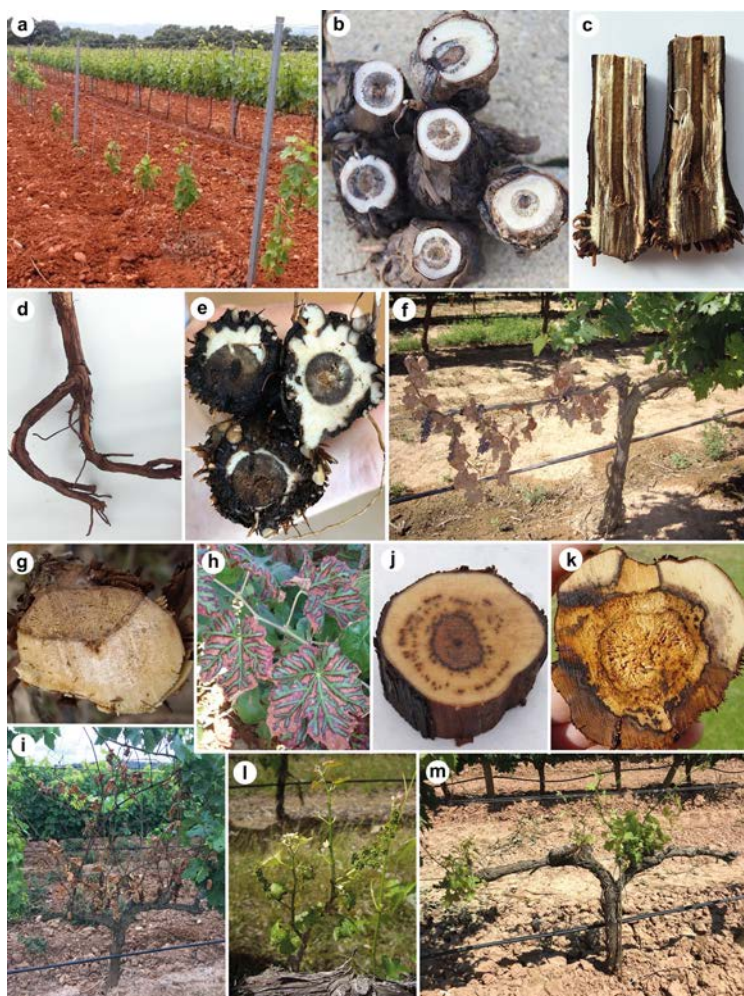
algunos países, la eliminación del arsenito de sodio o, también, una reducción importante en la disponibilidad de materias activas fungicidas, potencialmente efectivas contra los hongos que causan las enfermedades de la madera, debido a preocupaciones ambientales y de salud pública (Gramaje y Armengol, 2011; Bertsch *et al.*, 2012; Luque *et al.*, 2014a; Gramaje *et al.*, 2018).

En plantas jóvenes, se pueden observar síntomas de EFMV en los primeros años tras la plantación, tales como: retraso en el desarrollo y escaso vigor, presencia de brotes raquíticos y necrosis internas (Figura 1a). En este caso, la enfermedad de Petri y el Pie negro son las enfermedades más relevantes. La primera está causada por hongos del género *Phaeoacremonium*, y las especies *Phaeomoniella chlamydospora* y *Cadophora luteo-olivacea*, que colonizan los tejidos xilemáticos o vasos conductores, dañándolos (Figuras 1b y 1c). El Pie negro está causado por hongos pertenecientes a los géneros *Campylocarpon*, *Cylindrocladiella*, *Dactylonectria*, *Ilyonectria*, *Neonectria* y *Thelonectria*, que atacan al sistema radicular y a la base del patrón provocando lesiones necróticas generalizadas y una reducción de la masa radicular (Figuras 1d y 1e) (Gramaje y Armengol, 2011; Agustí-Brisach y Armengol, 2013a).

En plantas adultas (10-12 años de edad), la EFMV más conocida es la Yesca, tanto en su forma lenta (Figura 1h), cuando afecta a uno o varios brazos en una cepa, como en su forma rápida (muerte súbita o apoplejía) (Figura 1i). Los hongos asociados a esta enfermedad son los basidiomicetos *Fomitiporia mediterranea* y *Stereum hirsutum* que causan una podredumbre seca y esponjosa en la madera interna (Figura 1k). Además, en la madera afectada también se aíslan hongos del género *Phaeoacremonium* y la especie *Phaeomoniella chlamydospora*, asociados a punteaduras necróticas en el xilema (Figura 1j) (Bertsch *et al.*, 2012; MAGRAMA, 2014; De la Fuente *et al.*, 2016).

Las plantas adultas también se ven afectadas por otras dos enfermedades: la Eutipiosis, causada por hongos pertenecientes a la familia Diatrypaceae, principalmente por la especie *Eutypa lata*, y el decaimiento por Botryosphaeria, causado principalmente por diversos hongos pertenecientes a la familia Botryosphaeriaceae, como *Diplodia seriata* y *Neofusicoccum parvum*. Estas enfermedades producen síntomas parecidos: necrosis sectoriales internas de color marrón oscuro y consistencia dura (Figura 1f), brotes débiles, y desecación progresiva y muerte de los brazos afectados (Figura 1l y 1m) (Bertsch *et al.*, 2012; MAGRAMA, 2014; De la Fuente, 2016).

Figura 1. Síntomas de decaimiento en plantas jóvenes de vid (a); cortes transversales (b) y longitudinales (c) de un portainjerto joven de vid mostrando necrosis xilemática; reducción de la masa radicular en plantas afectadas (d); corte transversal de una planta joven de vid afectada por pie negro (e); síntoma en campo del decaimiento por *Botyrosphaeria*: desecación de sarmientos y muerte del brazo (f); necrosis sectoriales en la madera que toman color marrón oscuro y consistencia dura (g); síntomas externos de yesca asociados a la forma lenta o crónica: coloraciones internerviales en hojas que toman progresivamente una coloración rojiza en las de uva tinta (h); síntomas externos de yesca asociados a la forma rápida o apopléjica: muerte repentina de la planta (i); síntomas de yesca en madera de vid: punteaduras necróticas en el xilema (j) y podredumbre esponjosa de color blanco-amarillento (k); síntomas externo de eutipiosis: brotes débiles, con entrenudos cortos, hojas más pequeñas y algo deformadas, cloróticas y con necrosis, generalmente marginales (l) y (m)



Hasta la fecha, se han asociado con las EFMV hasta 133 especies de hongos pertenecientes a 34 géneros en todo el mundo. La mayoría de ellos son hongos ascomicetos, pero también algunas especies de basidiomicetos tienen un papel importante en este complejo de enfermedades (Gramaje *et al.*, 2018). Algunas de las especies más importantes en España ya se han mencionado anteriormente.

2. Efecto de las condiciones ambientales y del cambio climático sobre las enfermedades de los cultivos

Los cambios en las condiciones ambientales pueden influir drásticamente tanto en el inicio como en el desarrollo de las enfermedades de los cultivos. Para que ocurra una enfermedad, y esta se pueda desarrollar de manera óptima, debe estar presente una combinación simultánea de tres factores: planta susceptible, patógeno virulento y ambiente favorable. Esta combinación se conoce como el «triángulo de la enfermedad» (Agrios, 2005). Dicho de otro modo, el desarrollo de una enfermedad de los cultivos es consecuencia de las interacciones entre un agente causal y una planta susceptible en el marco de un ambiente adecuado; en tanto que, sin el concurso de este último, la enfermedad no tiene lugar aún en presencia de huésped susceptible y patógeno virulento (Jiménez-Díaz, 2008). Sin embargo, aunque la susceptibilidad de la planta y la capacidad infectiva del patógeno permanezcan esencialmente sin cambios en la misma planta durante al menos varios días, y a veces durante semanas o meses, en el medioambiente las condiciones pueden cambiar mucho más rápidamente. Un cambio en cualquier factor medioambiental puede favorecer a la planta, al patógeno o a ambos, o puede ser más favorable para uno de lo que es para el otro. Como resultado, la expresión de la enfermedad se verá afectada en consecuencia (Agrios, 2005).

Factores ambientales como la temperatura, la humedad relativa, el viento, la iluminación o la lluvia, tienen un papel determinante como desencadenantes en la emergencia de nuevas enfermedades de los cultivos, especialmente en lo que se refiere a las enfermedades causadas por hongos (Anderson *et al.*, 2004).

También el cambio climático puede tener efectos positivos, negativos o inapreciables en factores reductores del rendimiento alcanzable de los cultivos, como son las enfermedades, plagas y malas hierbas (Oerke, 2006). Cambios extremos en los factores climáticos han determinado epidemias devastadoras a lo largo de la historia y las relaciones entre factores climáticos y los ciclos

vitales de los patógenos, o entre aquellos y el desarrollo de las enfermedades, se han utilizado con éxito para la predicción de epidemias y el control de las enfermedades (Madden *et al.*, 2007). Sin embargo, la complejidad de las interacciones planta-patógeno dificulta de forma notable la predicción de impactos sobre la calidad y rendimiento de las cosechas debido a modificaciones en los factores climáticos, así como que se puedan establecer generalizaciones respecto a las estrategias adecuadas para minimizarlos (Jiménez-Díaz, 2008).

Los conocimientos actuales sobre la epidemiología de las enfermedades indican que las modificaciones ambientales asociadas al cambio climático, como el aumento de la temperatura, la precipitación, la humedad ambiental y la concentración de CO₂ atmosférico, pueden dar lugar a alteraciones importantes en: i) los ciclos vitales de los agentes fitopatógenos; ii) el desarrollo de la patogénesis en las enfermedades; y iii) la fisiología de las interacciones entre la planta y el patógeno. Estas alteraciones podrían repercutir en la distribución geográfica de los patógenos, la incidencia y gravedad de las enfermedades y las pérdidas de rendimiento que estas originen, y la eficiencia de las estrategias de control de las enfermedades (Garret *et al.*, 2006).

3. Epidemiología de las enfermedades de la madera de la vid

En el caso de las EFMV los factores ambientales tienen un efecto determinante sobre la biología de los patógenos. Por ejemplo, en los últimos años se han desarrollado numerosos estudios para establecer el rango de temperaturas en el que se desarrollan (crecimiento micelial), o producen, esporas, las especies más importantes de hongos de la madera de la vid y también sus temperaturas óptimas de crecimiento. Estos datos pueden ser de gran utilidad para la determinación de los momentos de riesgo de infección, pero también para implementar medidas de control como la aplicación de tratamientos por agua caliente en los viveros de producción de planta injertada de vid (Gramaje y Armengol, 2011; Luque *et al.*, 2014b).

Estos factores también tienen una influencia muy importante sobre la epidemiología de las EFMV. Por tanto, su conocimiento es fundamental para entender qué posibilidades ofrecen las medidas actualmente disponibles para su control en vivero y en el viñedo, así como para proponer nuevas estrategias de futuro para su manejo integrado.

3.1. Supervivencia y fuentes de inóculo

Mediante estudios realizados tanto con plantas trampa como mediante técnicas moleculares se ha demostrado que los hongos que causan las enfermedades de Petri y del Pie negro de la vid se encuentran en el suelo (Agustí-Brisach *et al.*, 2013b; y 2014). Algunas de estas especies producen estructuras de resistencia que les permiten sobrevivir en el suelo durante largo tiempo en ausencia de hospedantes o, alternativamente, también podrían sobrevivir infectando malas hierbas (Agustí-Brisach *et al.*, 2011). Asimismo, no hay que descartar la posible presencia en el suelo de inóculo de hongos que causan la Eutipiosis, el Decaimiento por Botryosphaeria, y basidiomicetos implicados en la Yesca. Ello se debería a la incorporación progresiva en el mismo de los restos de poda o las plantas muertas que permanecen en el viñedo durante su degradación. En este sentido, estos restos de poda o plantas muertas son, sin duda, la principal fuente de inóculo de hongos de la madera en el viñedo, especialmente de aquellos que se diseminan de forma aérea (Elena y Luque, 2016). Pero la mayoría de estos hongos también pueden afectar a otros cultivos leñosos (frutales de hueso, olivos, cítricos, etc.), siendo las plantas afectadas de estos cultivos otra fuente importante de inóculo a considerar en la epidemiología de las EFMV (Gramaje *et al.*, 2012; Olmo *et al.*, 2016). En el vivero se ha detectado la presencia de inóculo de EFMV en el agua de las balsas de hidratación, sustratos y herramientas (Aroca *et al.*, 2010; Agustí-Brisach *et al.*, 2013c). También se ha encontrado inóculo de EFMV en las tijeras de podar en campo, aunque queda por demostrar su potencial para infectar a las plantas (Agustí-Brisach *et al.*, 2015).

3.2. Dispersión

La mayoría de hongos que causan las EFMV producen esporas cuya dispersión se produce a través del viento y del agua de lluvia (Luque *et al.*, 2014a). La dispersión aérea de esporas se considera la principal vía de diseminación de las EFMV, pero hay que considerar también otra vía importante como es el uso, en el momento del establecimiento de nuevas plantaciones, de plantas injertadas que pudieran estar ya infectadas, comprometiendo el estado fitosanitario de los viñedos desde el momento de la plantación (Gramaje y Armengol, 2011). Otras vías de diseminación a tener en cuenta, aunque de menor relevancia en la epidemiología de las EFMV, son: el transporte de suelo o el

uso de herramientas, si estuvieran infestadas con hongos de la madera, y la diseminación a través de artrópodos presentes en el viñedo (Moyo *et al.*, 2014).

3.3. Infección

Respecto a la infección de las plantas, las heridas de poda son la principal vía de entrada de esporas de diseminación aérea y estas se mantienen sensibles a la infección durante mucho tiempo; al menos hasta cuatro meses (Serra *et al.*, 2008; Luque *et al.*, 2014a). Además, la infección de las heridas de poda se ve favorecida cuando se dan condiciones meteorológicas de elevada humedad, por ello se recomienda no podar en épocas de lluvia (MAGRAMA, 2014). Las heridas también son importantes en el proceso de producción de planta injertada en vivero, y se ha comprobado que en las diferentes fases de producción de planta injertada el riesgo de infección por hongos asociados a las EFMV es elevado (Aroca *et al.*, 2010; Agustí-Brisach *et al.*, 2013c). Los hongos que causan las enfermedades de Petri y del Pie negro también pueden infectar a las vides, tanto en vivero como en campo, a través de heridas en las raíces o en la parte basal del patrón que estén en contacto con el suelo (Agustí-Brisach y Armengol, 2013a; Gramaje *et al.*, 2015).

4. Efecto del cambio climático en la incidencia de las enfermedades de la madera de la vid

Entre las diversas variaciones en los factores climáticos asociadas con el cambio climático, el incremento de las temperaturas, la disminución de las precipitaciones (estrés hídrico), el incremento de la frecuencia de fuertes tormentas de lluvia y granizo, y el incremento en la concentración de CO₂ atmosférico, son las que inciden en mayor extensión sobre los componentes de los patosistemas, y potencialmente pueden determinar efectos más significativos sobre la incidencia y gravedad de las EFMV.

Las investigaciones sobre los efectos del cambio climático en la incidencia de las EFMV son limitadas y, en muchos casos, centradas únicamente en el efecto de condiciones de estrés hídrico en el desarrollo de la enfermedad. En este sentido, investigadores australianos concluyeron que la aplicación de condiciones extremas de temperatura y condiciones de humedad en el suelo podrían incrementar la severidad de síntomas foliares causados por *Eutypa lata* en condiciones controladas (Sosnowski *et al.*, 2011). Sin embargo, en un

estudio reciente, Sosnowski *et al.* (2016) concluyeron que, bajo condiciones de déficit hídrico, la susceptibilidad de las heridas de poda a la infección por *Diplodia seriata* y *Eutypa lata* disminuía, lo que contradice los resultados anteriores y sugiere que la sequía y la reducción en la irrigación no contribuyen al aumento en la prevalencia de las enfermedades de la madera en viñedos. Amponsah *et al.* (2014) investigaron el efecto del contenido de humedad del suelo en la severidad de la enfermedad causada por *Neofusicoccum parvum*, y los resultados mostraron que a medida que disminuía el contenido en humedad del suelo disminuía el tamaño de las lesiones necróticas causadas por el patógeno en estaquillas inoculadas artificialmente.

La temperatura es uno de los elementos que mayor influencia podría ejercer en la biología de los hongos asociados a las enfermedades de la madera. Este factor climático podría modificar el periodo de supervivencia y la tasa reproductiva de los patógenos en condiciones desfavorables, así como la prevalencia de especies fúngicas y los requerimientos de infección. En este sentido, como se ha comentado anteriormente, existen numerosos estudios para establecer las temperaturas óptimas de crecimiento de las especies prevalentes asociadas a las enfermedades de la madera, como por ejemplo las especies pertenecientes al género *Phaeoacremonium* (Mostert *et al.*, 2006). Esta información podría tener especial relevancia en la aplicación de estrategias de control, como la termoterapia con agua caliente. Un aumento en las temperaturas debido al cambio climático podría favorecer la capacidad de adaptación de los patógenos a las nuevas condiciones ambientales, lo que supondría una mayor tolerancia a los tratamientos por termoterapia con agua caliente. Además, la aparición de condiciones climáticas fluctuantes (i. e., temperatura, humedad relativa o contenido de agua en el suelo) podría tener una repercusión negativa sobre la consistencia y eficacia de medidas de control biológico, dada la vulnerabilidad de los agentes microbianos a variaciones extremas en los factores ambientales. Las poblaciones de agentes de control biológico (ACB) podrían alcanzar densidades de población demasiado bajas para ejercer su efecto de biocontrol y no recuperar niveles adecuados tan rápidamente como podría hacerlo el patógeno bajo condiciones favorables para su desarrollo (Garret *et al.*, 2006). No obstante, todo ello dependerá de la capacidad de adaptación del ACB a las nuevas condiciones ambientales (Pritchard, 2011). La temperatura es uno de los elementos que mayor influencia puede ejercer en la eficacia de los ACB, modulando su capacidad de actividad para competir con los patógenos por su nicho ecológico o sustrato (Schmidt *et al.*, 2004), o afectando a la producción de antibióticos y enzimas líticas implicados en su control (Landa *et al.*, 2004).

Un incremento en la frecuencia de fuertes tormentas de lluvia y granizo podría tener un impacto negativo sobre la incidencia y severidad de las EFMV. Los hongos causantes del decaimiento por *Botryosphaeria*, la Eutipiosis y la Yesca, penetran en las plantas a través de las heridas de poda o naturales que se producen en la parte aérea de la planta. Por tanto, un aumento de las heridas provocadas por el granizo podría aumentar la incidencia de las infecciones por hongos asociados a las enfermedades de la madera en brazos, pulgares y sarmientos de la vid.

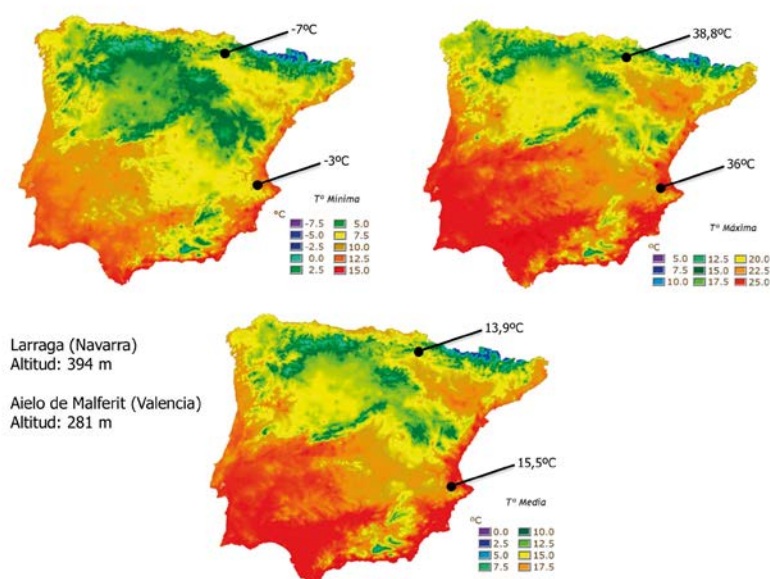
5. Adaptación de la viticultura al cambio climático

5.1. Medidas estratégicas sobre viñedos por establecer

Estas medidas incluyen cambios en las variedades plantadas, por otras mejor adaptadas a las nuevas condiciones climáticas, y cambios en la ubicación de los viñedos, buscando situaciones más frescas. En el primer caso, sería necesario no perder la tipicidad característica de los vinos tradicionales de la zona, por tanto, la solución radicaría en buscar dentro de la heterogeneidad genética intravarietal los biotipos o clones que mejor se adapten a las nuevas condiciones climáticas. En este sentido, además de la caracterización agronómica de biotipos o clones, existen trabajos donde se investiga la susceptibilidad de clones de una determinada variedad a la infección por hongos de la madera. Berlanas *et al.* (2017) observaron la amplia variabilidad de 47 clones del cultivar Tempranillo en lo referente a la susceptibilidad a la infección por *Neofusicoccum parvum*, uno de los principales agentes causales del decaimiento por *Botryosphaeria*. Asimismo, dado que los portainjertos de mejor adaptación edafoclimática e interés comercial (i. e., portainjertos 110 Richter, 140 Ruggeri, 41 Berlandieri y 1103 Paulsen) son muy susceptibles a las enfermedades de la madera (Alaniz *et al.*, 2010; Gramaje *et al.*, 2010), se están desarrollando estudios de resistencia a la enfermedad con un amplio rango de portainjertos obtenidos de bancos de germoplasma, con resultados prometedores (Berbegal *et al.*, 2017b). Esta información podría ser integrada con los datos agronómicos existentes sobre la adaptabilidad de clones y portainjertos a las nuevas condiciones climáticas, con el objetivo de proporcionar al viticultor material vegetal mejor adaptado al cambio climático y tolerantes a las enfermedades de la madera.

Respecto al cambio de ubicación de los viñedos, el principal foco de atención se sitúa en el material inicial procedente de los campos de plantas madre en viveros de vid. En España, las principales zonas de cultivo de plantas madre y producción de planta injertada de vid se localizan en Navarra y Valencia. Las variaciones ambientales asociadas al cambio climático podrían afectar al desarrollo del cultivo de la vid en estas regiones y, de esta forma, a la producción de material de propagación (Figura 2). La solución radicaría en la búsqueda del mesoclima y microclima idóneos en una misma región vitivinícola, lo cual conferiría una alternativa adaptativa frente a la situación cambiante que se espera. Realizar estudios de zonificación para seleccionar aquellos mesoclimas y microclimas con mejores aptitudes climáticas para desarrollar el cultivo de la vid en el futuro es una alternativa factible para seguir manteniendo la actividad vitivinícola de la zona (i. e., zonas frescas de los valles, los terrenos con exposición norte o terrenos situados a mayor altitud).

Figura 2. Registro de temperaturas promedio mínimas, máximas y medias en la península ibérica



Fuente: Atlas Climatológico Digital (2016).

5.2. Medidas estratégicas sobre viñedos ya establecidos

Las medidas de adaptación al cambio climático sobre viñedos ya establecidos se basan en modificar las técnicas de cultivo (poda, operaciones en verde, riego, mantenimiento del suelo, etc.) con el objetivo de reducir los excesos térmicos en hojas y racimos, evitar el déficit hídrico excesivo, minimizar la pérdida de suelo por escorrentía y evitar maduraciones precoces. En este apartado, se citarán aquellas técnicas que puedan tener un impacto sobre la incidencia de las enfermedades de la madera de la vid.

Un retraso en la fecha de poda, llegando incluso a podar después de la época de brotación, podría ayudar a retardar la acumulación de fotoasimilados en las bayas y de esta forma retrasar la maduración de la pulpa. Esta actuación en la poda podría tener un efecto en la incidencia de las enfermedades de la madera. En muchas zonas vitivinícolas se recomienda la poda tardía como práctica habitual. Sin embargo, en un estudio reciente, Luque *et al.* (2014b) demostraron que en dos viñedos del Penedès (Barcelona, Cataluña) el mayor porcentaje de infección de los sarmientos por hongos de la madera se producía en los meses posteriores a la poda –tardía– de febrero, mientras que se observaron significativamente menos infecciones después de una poda temprana, realizada en el mes de noviembre. Además, los mismos autores observaron que los porcentajes de infección se correlacionaron significativamente con la pluviometría acumulada en los tres meses posteriores a la poda, mayor en el caso del período febrero-mayo. Con estos datos, en la zona del Penedès sería aconsejable realizar una poda temprana en otoño, para evitar el riesgo elevado de infección que se da después de la poda tradicional tardía. Esta medida está siendo estudiada en otras zonas vitivinícolas de nuestro país, como Galicia, La Rioja y Valencia, para determinar en qué período del año se producen la mayor parte de las infecciones naturales y adecuar así la tarea de la poda (Berbegal *et al.*, 2017a).

La poda mínima del viñedo es una técnica que consiste en cortar los extremos de la vegetación cuando se aproximan al suelo, abriéndose hacia la calle, para facilitar las operaciones de cultivo; es una intervención tan mínima que se puede calificar de «no poda» ya que no afecta más que a una pequeña proporción de la vegetación (Martínez de Toda y Sancha, 1998). Este tipo de poda retrasa la maduración de la uva y es capaz de mejorar la relación entre antocianos y azúcares, así como de reducir el grado alcohólico el vino, contrarrestando de esta forma los efectos del cambio climático (Martínez de Toda

et al., 2015). Además, la poda mínima podría presentar ventajas en cuanto a la menor incidencia de las enfermedades de la madera, debido al menor número, diámetro y proximidad de los cortes de poda. En un estudio reciente, Travadon *et al.* (2016) observaron un menor porcentaje de plantas con síntomas foliares de yesca y de necrosis interna de la madera en dos viñedos en California que había sido sometidos a poda mínima en comparación con una poda corta tradicional.

6. Conclusiones y perspectivas de futuro

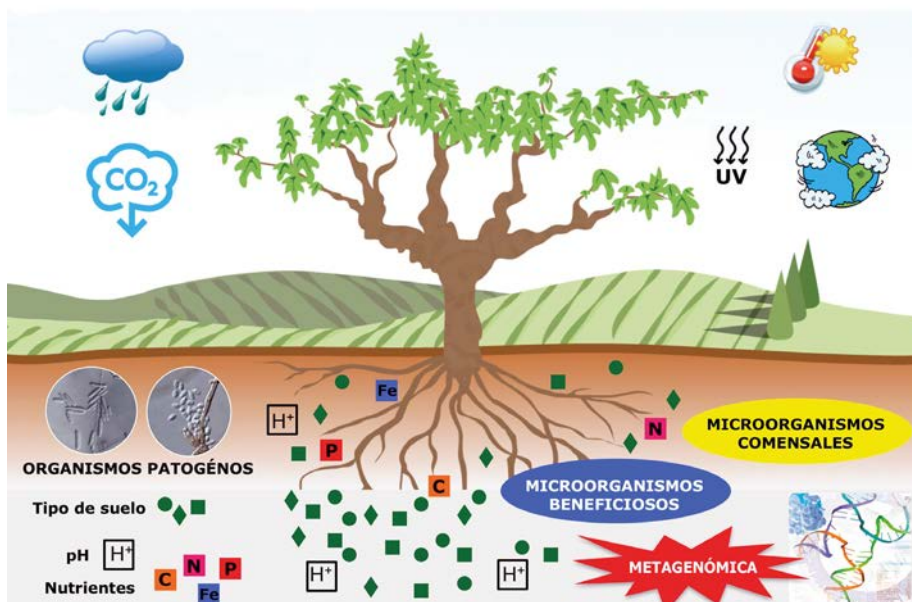
El cambio climático puede tener un efecto directo sobre la biología y epidemiología de los hongos asociados a las EFMV, la adaptabilidad del material vegetal y el control de estas enfermedades. La investigación actual sobre los hongos de la madera permitirá obtener en los próximos años nuevos datos sobre la biología y la epidemiología de los principales agentes causales. Esta información será fundamental para intentar predecir cómo estos hongos se van a adaptar al cambio climático y para proponer nuevas estrategias de futuro para el manejo integrado de las EFMV. No obstante, la complejidad en las interacciones planta-patógeno dificulta la predicción de los impactos que puedan tener los hongos de la madera sobre el cultivo debido a modificaciones en las variables climáticas.

Respecto a las estrategias de control, variaciones en los factores climáticos debidas al cambio climático podrían incidir sobre la eficiencia y/o durabilidad de los mecanismos de resistencia de la vid al agente causal, la eficacia de medidas de control de naturaleza cultural y, especialmente, en las estrategias de control biológico, debido a la vulnerabilidad de los agentes microbianos a variaciones extremas en los factores ambientales.

Una de las mayores incertidumbres que genera el impacto climático es el efecto sobre las comunidades de microorganismos del suelo en viñedos, especialmente localizados en la rizosfera. Variaciones en las comunidades microbianas habitantes del suelo y rizosfera podrían afectar de forma directa a la sanidad del viñedo y, de esta forma, a la productividad del cultivo de la vid. El efecto del cambio climático sobre las comunidades microbianas del suelo puede resultar muy complejo, afectando tanto a los procesos biológicos como a los procesos físicos y químicos del suelo, y a sus interacciones (Figura 3). Los nuevos métodos de secuenciación masiva y la inclusión en las bases de datos de un gran número de secuencias de ADN_r de distintos organismos

permitirá conocer cómo responderán las comunidades microbianas del suelo (microorganismos patógenos, beneficiosos y comensales) a las variaciones en los factores climáticos. Uno de los aspectos a tratar en el futuro será investigar si la variación en la composición microbiana del suelo y, en particular, de la rizosfera bajo condiciones de cambio climático es dependiente de la dispersión y adaptación de microorganismos desde climas cálidos a nuevos hábitats, o a la adaptación genética de estos al cambio climático.

Figura 3. Interacciones de los factores ambientales al cambio climático con los procesos biológicos, físicos y químicos que ocurren en el suelo



Referencias bibliográficas

- AGRIOS, G. N. (2005): *Plant Pathology*. Elsevier Academic Press. 5.^a edición; pp. 922.
- AGUSTÍ-BRISACH, C. y ARMENGOL, J. (2013a): «Black-foot disease of grapevine: an update on taxonomy, epidemiology and management strategies»; *Phytopathologia Mediterranea* (52); pp. 245-261.

- AGUSTÍ-BRISACH, C.; GRAMAJE, D.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J. y ARMENGOL, J. (2013a): «Detection of black-foot and Petri disease pathogens in soils of grapevine nurseries and vineyards using bait plants»; *Plant and Soil* (364); pp. 5-13.
- AGUSTÍ-BRISACH, C.; GRAMAJE, D.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J. y ARMENGOL, J. (2013c): «Detection of black-foot disease pathogens in the grapevine nursery propagation process in Spain»; *European Journal of Plant Pathology* (137); pp. 103-112.
- AGUSTÍ-BRISACH, C.; GRAMAJE, D.; LEÓN, M.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J. y ARMENGOL, J. (2011): «Evaluation of vineyard weeds as potential hosts of black-foot and Petri disease pathogens»; *Plant Disease* (95); pp. 803-810.
- AGUSTÍ-BRISACH, C.; LEÓN, M.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J. y ARMENGOL, J. (2015): «Detection of grapevine fungal trunk pathogens on pruning shears and evaluation of their potential for spread of infection»; *Plant Disease* (99); pp. 976-981.
- AGUSTÍ-BRISACH, C.; MOSTER, L. y ARMENGOL, J. (2014): «Detection and quantification of *Ilyonectria* spp. associated with black-foot disease of grapevine in nursery soils using multiplex nested PCR and quantitative PCR»; *Plant Pathology* (63); pp. 316-322.
- ALANIZ, S.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J.; ABAD-CAMPOS, P. y ARMENGOL, J. (2010): «Susceptibility of grapevine rootstocks to *Cylindrocarpon liriodendri* and *C. macrodidymum*»; *Scientia Horticulturae* (125); pp. 305-308.
- AMPONSAH, N. T.; JONES, E. E.; RIDGWAY, H. J. y JASPERS, M. V. (2014): «Factors affecting *Neofusicoccum luteum* infection and disease progression in grapevines. Australas»; *Plant Pathol.* (43); pp. 547-556.
- ANDERSON, P. K.; CUNNINGHAM, A. A.; PATEL, N. G.; MORALES, F. J.; EPSTEIN, P. R. y DASZAK, P. (2004): «Emerging infectious diseases of plants: pathogen pollution, climate change and agrotechnology drivers»; *Trends in Ecology and Evolution* (19); pp. 535-544.
- ARMENGOL, J. (2015): «Las enfermedades fúngicas de la madera de la vid: una amenaza para la sostenibilidad de este cultivo»; *Phytoma-España* (274); pp. 79-80.

- AROCA, A.; GRAMAJE, D.; ARMENGOL, J.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J. y RAPOSO, R. (2010): «Evaluation of the grapevine nursery propagation process as a source of *Phaeoacremonium* spp. and *Phaeomoniella chlamydospora* and occurrence of trunk disease pathogens in rootstock mother vines in Spain»; *European Journal of Plant Pathology* (126); pp. 165-174.
- ATLAS CLIMATOLÓGICO DIGITAL (2016): <http://www.opengis.uab.es/wms/iberia/mms/index.htm>.
- BERBEGAL, M.; ARIZMENDI, S.; CATALÁ, S.; MORANT, V. y ARMENGOL, J. (2017a): «Development of a real-time PCR protocol to quantify the airborne inoculum of *Phaeomoniella chlamydospora*»; *Phytopathologia Mediterranea* (56); pp. 529-530.
- BERBEGAL, M.; BERLANAS, C.; GRAMAJE, D.; MUÑOZ-ORGANERO, G.; CABELLO, F.; SIEBERHAGEN, M.; NOCENTINI, M. y ARMENGOL, J. (2017b): «Screening of grapevine rootstock germplasm for resistance to *Cadophora luteo-olivacea*, *Neofusicoccum parvum* and *Phaeomoniella chlamydospora*»; *Phytopathologia Mediterranea* (56); pp. 543-544.
- BERLANAS, C.; SONGY, A.; CLÉMENT, C.; FONTAINE, F. y GRAMAJE, D. (2017): «Variation amongst 'Tempranillo' clones in susceptibility to *Neofusicoccum parvum*»; *Phytopathologia Mediterranea* (56); pp. 545.
- BERTSCH, C.; RAMÍREZ-SUERO, M.; MAGNIN-ROBERT, M.; LARIGNON, P.; CHONG, J.; ABOU-MANSOUR, E.; SPAGNOLO, A.; CLÉMENT, C. y FONTAINE, F. (2012): «Grapevine trunk disease: complex and still poorly understood»; *Plant Pathology* (62); pp. 243-265.
- DE LA FUENTE, M.; FONTAINE, F.; GRAMAJE, D.; ARMENGOL, J.; SMART, R.; NAGY, Z. A.; BORGIO, M.; REGO, C. y CORIO-COSTET, M. F. (2016): «Grapevine Trunk Diseases. A review»; *OIV publications*; pp. 24.
- ELENA, G. y LUQUE, J. (2016): «Pruning debris of grapevine as a potential inoculum source of *Diplodia seriata*, causal agent of *Botryosphaeria* die-back»; *European Journal of Plant Pathology* (144); pp. 803-810.
- FISCHER, M. (2006): «Biodiversity and geographic distribution of Basidiomycetes causing esca-associated white rot in grapevine: a worldwide perspective»; *Phytopathologia Mediterranea* (45); pp. S30-S42.
- GARRETT, K. A.; DENDY, S. P.; FRANK, E. E.; ROUSE, M. N. y TRAVERS, S. E. (2006): «Climate change effects on plant disease: Genomes to ecosystems»; *Annual Review of Phytopathology* (44); pp. 489-509.

- GRAMAJE, D. y ARMENGOL, J. (2011): «Fungal trunk pathogens in the grapevine propagation process: potential inoculum sources, detection, identification, and management strategies»; *Plant Disease* (95); pp. 1040-1055.
- GRAMAJE, D.; GARCÍA-JIMÉNEZ, J. y ARMENGOL, J. (2010): «Grapevine roots-tock susceptibility to fungi associated with Petri disease and esca under field conditions»; *American Journal of Enology and Viticulture* (61); pp. 512-520.
- GRAMAJE, D.; AGUSTÍ-BRISACH, C.; PÉREZ-SIERRA, A.; MORALEJO, E.; OLMO, D.; MOSTERT, L.; DAMM, U. y ARMENGOL, J. (2012): «Fungal trunk pathogens associated with wood decay of almond trees on Mallorca (Spain)»; *Persoonia* (28); pp. 1-13.
- GRAMAJE, D.; MOSTERT, L.; GROENEWALD, J. Z. y CROUS, P. W. (2015): «*Phaeoacremonium*: from esca disease to phaeohyphomycosis»; *Fungal Biology* (119); pp. 759-783.
- GRAMAJE, D.; ÚRBEZ-TORRES, J. R. y SOSNOWSKI, M. R. (2018): «Managing grapevine trunk diseases with respect to etiology and epidemiology: current strategies and future prospects»; *Plant Disease* (102); pp. 12-39.
- JIMÉNEZ-DÍAZ, R. M. (2008): «Impactos del cambio climático en las enfermedades de las plantas»; en LAMO DE ESPINOSA, J. y JIMÉNEZ DÍAZ, R. M., coords.: *Repercusiones del Cambio Climático en la Agricultura y la Alimentación Mundial*. Eumedia SA; pp. 143-162.
- LANDA, B. B.; NAVAS-CORTÉS, J. A. y JIMÉNEZ-DÍAZ, R. M. (2004): «Influence of temperatura on plant-rhizobacteria interactions related to biocontrol potential for suppression of Fusarium chilt of chickpea»; *Plant Pathology* (53); pp. 341-351.
- LUQUE, J.; ELENA, G.; ARMENGOL, J. y LEGORBURU J. (2014a): «Las enfermedades de la madera de la vid: reflexiones sobre un panorama complejo»; *Phytoma-España* (260); pp. 18-24.
- LUQUE, J.; ELENA, G.; GARCÍA-FIGUERES, F.; REYES, J.; BARRIOS, G. y LEGORBURU, J. (2014b): «Natural infections of pruning wounds by fungal trunk pathogens in mature grapevines in catalonia (Northeast Spain)»; *Australian Journal of Grape and Wine Research* (20); pp. 134-143.
- MADDEN, L. V.; HUGUES, G. y VAN DEN BOSCH F. (2007): *The study of plant disease epidemics*. St. Paul, MN, APS Press.

- MAGRAMA, MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE (2014): *Guía de gestión integrada de plagas. Uva de transformación*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente; pp. 202.
- MARTÍNEZ DE TODA, F. y SANCHA J. C. (1998): «Long-term effects of zero pruning on Grenache vines under drought conditions»; *Vitis* (37); pp. 155-157.
- MARTÍNEZ DE TODA, F.; ZHENG, W.; DEL GALDO, V.; GARCÍA, J.; BALDA, P. y SANCHA, J. C. (2015): «La poda mínima del viñedo como herramienta de adaptación al cambio climático. Agricultura»; *Revista agropecuaria* 981; pp. 112-115.
- MOSTERT, L.; GROENEWALD, J. Z.; SUMMERBELL, R. C.; GAMS, W. y CROUS, P. W. (2006): «Taxonomy and pathology of *Togninia* (*Diaporthales*) and its *Phaeoacremonium* anamorphs»; *Studies in Mycology* (54); pp. 1-113.
- MOYO, P.; ALLSOPP, E.; ROETS, F.; MOSTERT, L. y HALLEEN F. (2014): «Arthropods vector grapevine trunk disease pathogens»; *Phytopathology* (104); pp. 1063-1069.
- OERKE, E. C. (2006): «Crop losses to pests»; *Journal of Agricultural Science* (144); pp. 31-43.
- OLMO, D.; ARMENGOL, J.; LEÓN, M. y GRAMAJE, D. (2016): «Characterization and pathogenicity of Botryosphaeriaceae species isolated from almond trees on the island of Mallorca (Spain)»; *Plant Disease* (100); pp. 2483-2491.
- PRITCHARD, S. G. (2011): «Soil organisms and global climate change»; *Plant Pathology* (60); pp. 82-99.
- SERRA, S.; MANNONI, M. A. y LIGIOS V. (2008): «Studies on the susceptibility of pruning wounds to infection by fungi involved in grapevine wood diseases in Italy»; *Phytopathologia Mediterranea* (47); pp. 234-246.
- SOSNOWSKI, M. R.; AYRES, M. y SCOTT, E. S. (2016): «The influence of water deficit on grapevine trunk disease»; *Wine Viticulture Journal* (31); pp. 46-50.
- SOSNOWSKI, M. R.; LUQUE, J.; LOSCHIAVO, A. P.; MARTOS, S.; GARCÍA-FIGUERES, F.; WICKS, T. W. y SCOTT, E. S. (2011): «Studies on the effect of water and temperature stress on grapevine inoculated with *Eutypa lata*»; *Phytopathologia Mediterranea* (50); pp. S127-S138.

- TRAVADON, R.; LECOMTE, P.; DIARRA, B.; LAWRENCE, D. P.; RENAULT, D.; OJEDA, H.; REY, P. y BAUMGARTNER, K. (2016): «Grapevine pruning systems and cultivars influence the diversity of wood-colonizing fungi»; *Fungal Ecology* (24); pp. 82-93.
- TROUILLAS, F. P.; ÚRBEZ-TORRES, J. R. y GUBLER, W. D. (2010): «Diversity of Diatrypaceous fungi associated with grapevine canker diseases in California»; *Mycologia* (102); pp. 319-336.
- ÚRBEZ-TORRES, J. R. (2011): «The status of Botryosphaeriaceae species infecting grapevines»; *Phytopathologia Mediterranea* (50); pp. S5-S45.

Cambio climático y maduración de la uva

Prevención del bloqueo y vinificación de precisión

José Pascual Gracia Romeo

Bioenos

Resumen/Abstract

El capítulo desarrolla un índice de maduración fenólica (IMF) elaborado por el autor para decidir el momento óptimo de vendimia. Proporciona un valor numérico, registrable año tras año, comparable, que es un indicador del estado de maduración de la uva y que, además, está interrelacionado con los indicadores fisiológicos de estrés hídrico: conductancia estomática, relación isotópica $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ y algoritmo *Verde Smart*. Se trata de un valor que vincula índices fisiológicos con un índice del estado de madurez de la uva, que proyecta el perfil de calidad del vino. Permite planificar la vinificación en la poda, ajustarla antes del envero y armonizarla con la maduración. Y además, en caso de no alcanzar los valores idóneos de maduración, facilita la elección de los protocolos de vinificación adecuados. Con el cambio climático llegan tiempos para que los enólogos estudien fisiología de la vid y los ingenieros agrónomos entiendan los análisis químicos de la uva.

.....

The chapter discusses a Phenolic Maturity Index (PFI) created by the author to decide the optimal harvest moment. It provides a numerical value, measurable year after year and comparable, which is an indicator of the state of maturation of the grape and is also interrelated with the physiological indicators of water stress: stomatal conductance, isotopic ratio $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ and a Green Smart algorithm. It is a value that links physiological indices with an index of the state of maturity of the grape, which projects the quality profile of the wine. It allows to plan the vinification during the pruning, to adjust it before the veraison, and to armonise with the maturation. In addition, in case of not reaching the ideal values of maturity, it facilitates the election of the suitable vinification protocols. With climate

change comes a time for winemakers to study vine physiology and for agronomists understand chemical analysis of the grape.

1. Introducción

Se puede decir, de forma general, que durante la maduración de la uva hay varios ciclos bioquímicos que funcionan sincronizados y que permiten suministrar a la pepita de la uva las sustancias necesarias para que la misma pueda germinar y perpetuar la especie. Guiados por ese principio, se observa la sucesión de los productos sintetizados que, o bien son constituyentes o nutrientes del proceso de germinación, o bien son compuestos que actúan como protectores de las membranas, evitando la invasión o la infección por otros microbios.

Desde un punto de vista enológico, la maduración es el proceso bioquímico en el que se produce la biosíntesis de azúcares, la degradación de los ácidos tartárico y málico, la síntesis de procianidinas y el resto de los polifenoles. A partir del envero se inicia la formación de los antocianos que pigmentan las uvas y la biosíntesis de los taninos y ácidos fenoles unidos a los antocianos. Desde el envero se produce la disminución de la concentración de procianidinas y de su grado de polimerización procedentes de la pepita y, de igual forma, también se produce la disminución de la concentración de las procianidinas del hollejo.

En la maduración óptima de uvas tintas, para la obtención de vinos de guarda y para su posterior crianza en bodega y botella, se busca conseguir uvas con el menor contenido en taninos de la pepita y la máxima intensidad de color, que a su vez se corresponde en la degustación de las uvas con unos taninos suaves del hollejo y la ausencia de verdor de su pepita.

En los quince días previos a la vendimia se suceden todos estos procesos bioquímicos, que son de gran importancia para obtener una uva tinta de óptima madurez fenólica. Dependiendo de múltiples factores, que luego se mencionan, la uva estará preparada para que, con una climatología relativamente favorable, vaya madurando paso a paso hasta alcanzar su grado óptimo.

Es bien sabido que es difícil poder iniciar un estudio científico o desarrollo tecnológico hasta que un proceso no pueda medirse. En este caso, hasta que no se le puedan asignar unos valores numéricos determinados al estado de madurez de la uva será complicado reproducir, comparar y estudiar de forma

científica la influencia del equilibrio foliar por kilo de uva (m^2/kg), la conductancia estomática ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) y los distintos factores climáticos sobre la capacidad de maduración de la uva.

En este capítulo se explica, de forma empírica, cómo se ha desarrollado un índice de madurez que, en un primer momento, sirvió para determinar con más precisión la fecha de la vendimia. Posteriormente, para pilotar el riego adecuado y reiniciar los bloqueos de maduración; más tarde, para diseñar la vinificación más adecuada en función del estado de maduración conseguido por las uvas (no todas llegan a alcanzar el óptimo) y, finalmente, para relacionar determinadas prácticas realizadas en el viñedo previas al invierno con la capacidad de maduración de la uva, lo que permite actuar con más criterio.

2. Desarrollo del índice de maduración fenólica (IMF)

En el año 1998 se inició el desarrollo de un proyecto para poder predecir, a partir de los granos de uva, la intensidad de color del futuro vino obtenido. Todas las uvas serían elaboradas de la misma forma, para que la única variable que afectase al color del vino fuese la propia calidad de su materia colorante. Todo ello con el objetivo de poder crear una medida, que sería el «color probable (CP)» (por analogía al grado probable del mosto) como parámetro de valoración de la calidad de la uva en la recepción de las bodegas cooperativas.

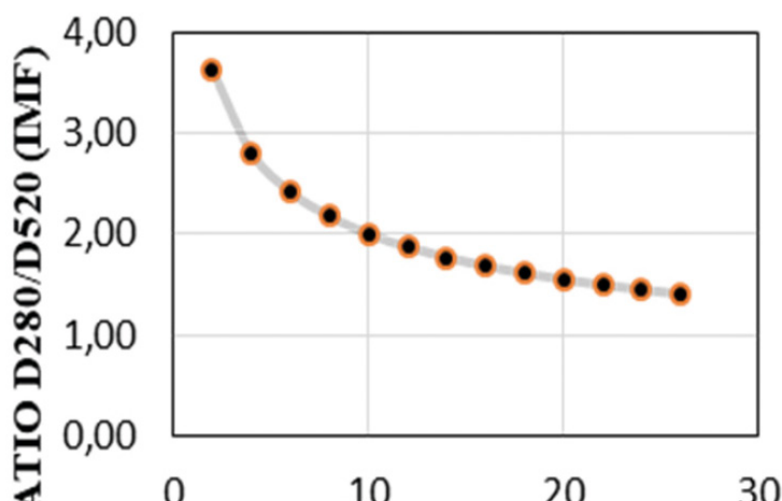
Para ello hay que realizar una digestión en caliente a $78\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 1 minuto, en presencia de unos reactivos exclusivos de análisis. Posteriormente, una vez centrifugado a 14.500 rpm, se toma una alícuota del extracto coloreado obtenido y se hace una dilución de 1 a 100 en HCL 2 %, a la que se le miden las absorbancias a las longitudes de onda de 280 nm y de 520 nm. Al dividir los valores de absorbancia d_{280}/d_{520} se obtiene el índice de madurez fenólica del método™ Cromoenos®, al que se le denomina de forma abreviada IMF.

Cuando se hace una representación del IMF de las uvas junto con la «intensidad colorante (IC)» del vino producido (Gráfico 1) se obtiene una curva en la que los valores más altos de IC tienden, de forma asintótica, al valor de IMF de 1,50, y así se repite todos los años. Este hecho da a entender que se trata de un parámetro que indica que, de forma intemporal, campaña a campaña, los valores máximos de ‘intensidad colorante’ se alcanzan cuando el valor de IMF esté próximo a 1,50. Esto significa que se puede disponer de un indicador que permite saber la proximidad o lejanía del valor máximo de IC.

Con el método del profesor Glories se realizan las medidas de antocianos potenciales a pH 1 y de antocianos extraíbles a pH 3,20; de tal manera, que llega un momento que alcanzan un máximo y luego disminuyen. El IMF permite saber que cuando se consigue el valor 1,55 se está próximo a lograr, de forma inmediata, el máximo de color de la uva y, si es ese el criterio de vendimia, se puede precisar la fecha de la misma con mayor exactitud.

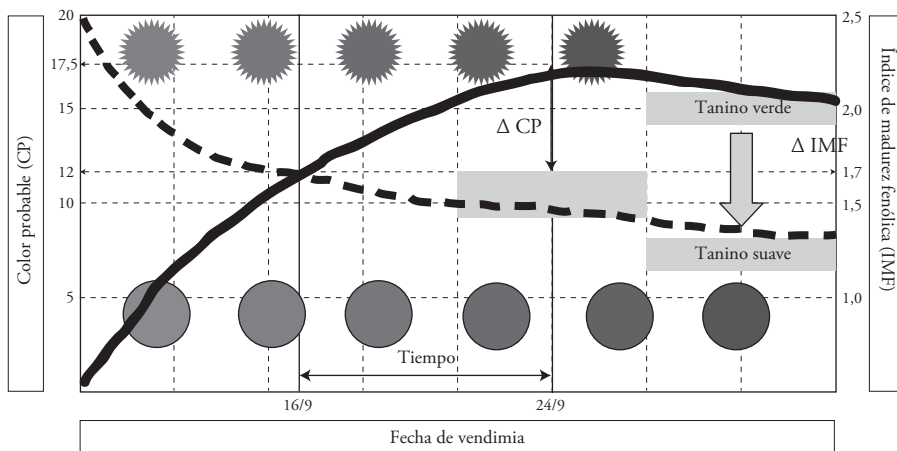
El valor de IMF aporta mucha información, ya que permite saber si se está cerca ($\text{IMF} < 1,60$) o lejos ($\text{IMF} > 2,00$) de alcanzar el valor máximo de CP, lo que permite planificar los controles de maduración y prever de forma más exacta la fecha de vendimia. Es decir, si una uva tiene 12 puntos de CP, un IMF de 1,70 y se deja en la cepa, puede seguir aumentando el color hasta alcanzar un IMF de 1,50 (Gráfico 2). Por tanto, el valor del IMF es determinante para comenzar con la vendimia.

Gráfico 1. Relación entre el ratio d280/d520 (IMF) de la uva y la IC del vino



Fuente: Gracia (2002).

Gráfico 2. Evolución del CP y del IMF durante la maduración



Fuente: Gracia (2002).

Durante muchos años se ha comprobado, con catas realizadas y con exhaustivos seguimientos de trazabilidad de los análisis de los remolques de entrada en las bodegas, que conforme el IMF disminuye la suavidad de los taninos aumenta, así como la sensación de volumen. En general, se observa que conforme el IMF decrece, los taninos son menos verdes y astringentes y más dulces y grasos. Los tonos verdosos desaparecen a partir de valores de 1,60. Es decir, el IMF da una valoración de la calidad de los taninos. Por ejemplo, si se vendimia con un IMF de 1,70 se pierde color y calidad y, por tanto, el vino resultante estará más verde y astringente.

Después de muchos años de experiencia con este método, en diferentes zonas de España, es posible establecer el significado de los valores críticos del índice de madurez fenólica, que son:

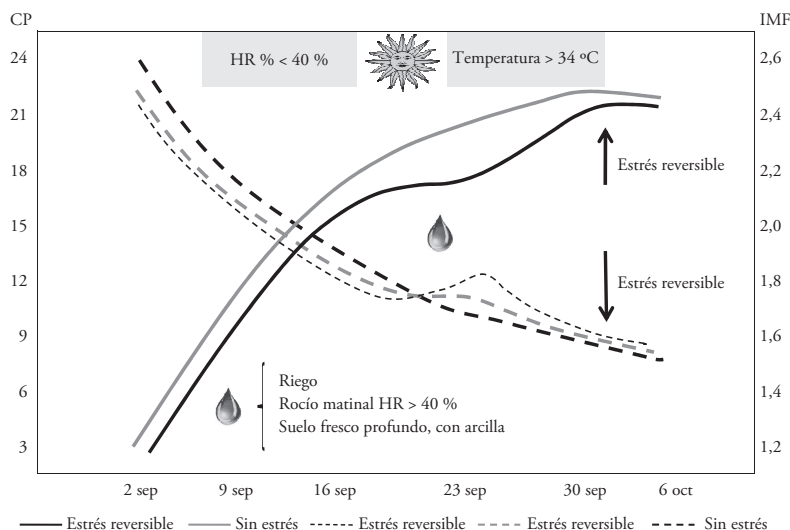
- IMF > 1,70: los taninos del vino son verdes y astringentes.
- 1,70 > IMF > 1,60: la astringencia del vino es de intensidad media.
- 1,60 > IMF > 1,50: el tanino del vino es maduro y suave.

En general, si las uvas presentan valores del IMF superiores a 2,00 suele tratarse de uvas inmaduras –con un bloqueo de maduración por estrés o por exceso de carga–, deshidratadas, infectadas de polilla o con roturas. Estas

uvas pueden presentar valores de CP > 12 puntos, o incluso más, pero esto solo significa que se trata de una «infusión» concentrada de antocianos con taninos verdes sin madurar, muy astringentes y secos. Algo que empieza a ser más habitual de lo normal en la época de cambio climático, y que ya se está comenzando a sufrir.

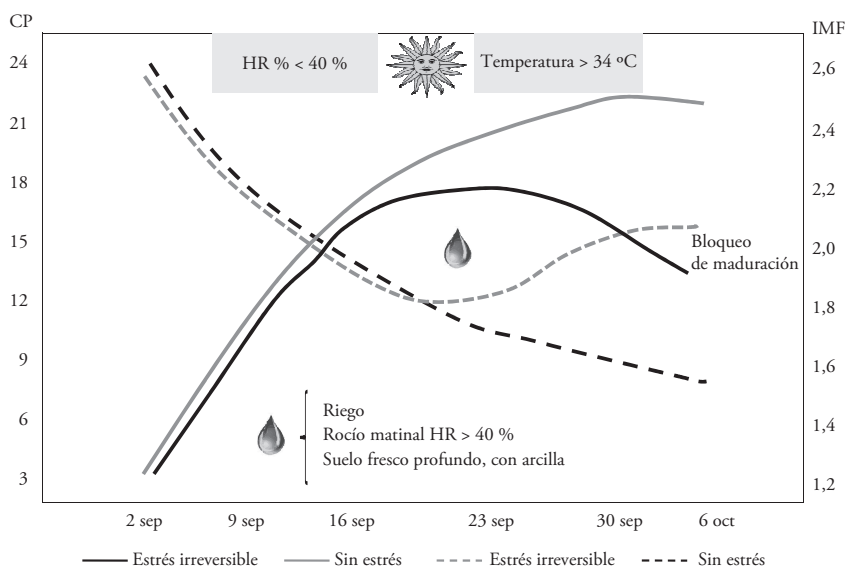
En los Gráficos 3 y 4 se muestra la evolución de las curvas de maduración correspondientes a los IMF y a los CP. En el Gráfico 3 se puede observar que cuando los valores de IMF, que normalmente descienden de forma gradual, ascienden o lo hacen de forma más estable y, además, el valor de CP o se estabiliza o sube, se está detectando el comienzo de un proceso de estrés hídrico negativo. Si no se actúa a tiempo, este proceso puede terminar en un bloqueo de maduración y la consiguiente deshidratación. Si la planta no es capaz de proporcionar la humedad suficiente, o es inviable la irrigación, se observa, en el Gráfico 4, como el CP comienza a descender y el IMF sigue subiendo. Esta es la evolución de un estrés irreversible que termina por deshidratación, con un aumento excesivo por concentración del grado alcohólico probable.

Gráfico 3. Evolución del IMF y del CP durante un bloqueo de maduración reversible



Fuente: Gracia (2000).

Gráfico 4. Evolución del IMF y del CP durante un bloqueo de maduración irreversible



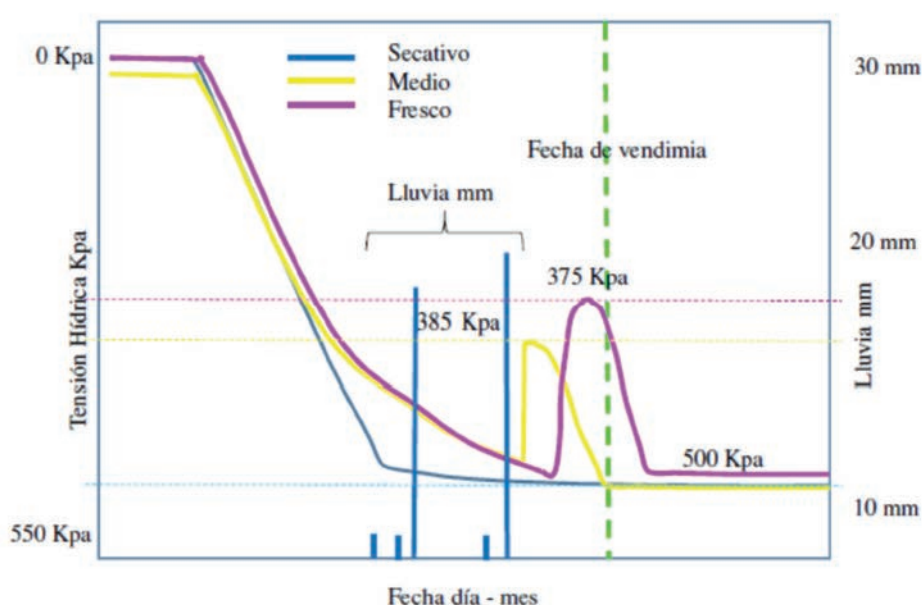
Fuente: Gracia (2000).

Desde hace años, estos fenómenos se vienen observando en zonas tradicionalmente áridas y con temperaturas altas en el periodo de maduración, en Aragón o Castilla-La Mancha. Aunque no aparezcan apenas muestras visibles de estrés, es posible detectar estos problemas. El procedimiento a seguir, en el momento en que el IMF se estabiliza o asciende, es activar un ciclo de tres etapas de riego de unos 8 l/cepa. Si pasadas 24 horas desde que se terminó el primer riego no se observa una disminución del IMF se inicia un segundo ciclo de riego y, en su caso, se repite con otro tercero. Si tras el tercer ciclo, el IMF sigue estable, o incluso sube, hay que plantearse la entrada urgente de la uva a la bodega, ya que en la siguiente fase, el grado de la uva «se dispara». Normalmente, con este esquema de trabajo es posible evitar, e incluso desbloquear, un 70 % de los casos de viñas donde el IMF comienza a estabilizarse o subir.

En el caso de viñedos en régimen de secano es importante disponer de sondas que midan la humedad y la capacidad del suelo para hacer frente a «golpes de calor», puesto que hay suelos que durante un periodo de 72 horas pueden mantener los IMF estables e incluso ascendiendo –a la vez que los valores de CP (inicio de bloqueo)–; pasado ese tiempo, la planta es capaz de reconducir la maduración. Esto puede ocurrir en el caso de viñedos bien

enraizados, en suelos con buena textura y con capacidad para proporcionar el agua necesaria a la cepa; con una humedad relativa superior al 40 % en horas tempranas son capaces de superar fases de 72 horas, en las que las viñas están sometidas a vientos secos y temperaturas superiores a los 32 °C, con una elevada transpiración. Como el suelo es un buen administrador de agua, en estos casos, la planta es capaz de reconducir la maduración en cuanto cesan los golpes de calor.

Gráfico 5. Evolución de la tensión hídrica en tres tipos de suelos. En kPa



Fuente: Gracia (2011).

En el Gráfico 5 se muestra la evolución de la tensión hídrica, expresada en Kpa, en tres tipos de suelo distintos situados a poca distancia unos de los otros: muy secativo, medianamente secativo y fresco. En el gráfico se puede observar, en el momento de la vendimia, lo siguiente:

- En *suelo secativo*, la sonda no aprecia humedad, por tanto, el suelo no cede hidratación a la planta.

- b) En *suelo medianamente secativo*, la sonda marca los 385 kPa y el día de vendimia la señal retorna a los 500 kPa.
- c) En *suelo fresco*, se realiza la vendimia existiendo agua en el suelo y con una tensión de 375 kPa.

En la Tabla 1 se muestran los datos de IMF y CP de las uvas en estos tres suelos y en tres momentos separados en el tiempo de 8 días, observando lo siguiente:

En *suelo secativo*, la evolución del IMF es de 1,82, 1,77 y 2,02 y, a su vez, el CP es de 9,9, 13,74 y 10,25. Por tanto, en los primeros 8 días ha habido un estrés hídrico positivo; el IMF ha disminuido de 1,82 a 1,77 y el CP ha pasado de 9,99 a 13,74, pero la uva ha sido incapaz de seguir madurando más, produciéndose un bloqueo, por eso el IMF ha subido de 1,77 a 2,02 y el CP ha bajado de 13,74 a 10,25, es decir, ha habido una degradación de antocianos, resultando un estrés irreversible.

En *suelo medianamente secativo*, la cepa está bloqueada desde el primer momento, ya que los valores del IMF son 1,63, 1,64 y 1,61 y los del CP son 12,30, 12,82 y 11,27. En este caso, el viñedo está en espaldera y tiene más carga por cepa, por lo que si está bloqueada y ha entrado en la fase de estrés irreversible, ya no se recupera con humedad en el suelo. De ahí la importancia de llevar el seguimiento del control de maduración y detectar precozmente el inicio del bloqueo con la estabilización o con el ascenso del IMF.

En *suelo fresco*, la evolución del IMF es de 1,92, 1,67 y 1,59 y del CP es de 11,22, 14,53 y 16,28. En este caso se puede ver una evolución normal, la planta no ha llegado a estar totalmente estresada y ha evolucionado favorablemente. Es decir, las raíces profundas en suelos frescos que administran el agua, permiten en secano y con pluviometrías justas, favorecer la evolución de la maduración.

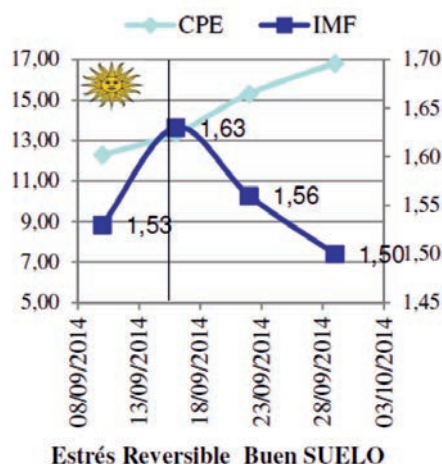
El ejemplo del Gráfico 6 se corresponde con un viñedo cuyas raíces se hallan a tres metros de profundidad, en suelos pedregosos y con arcilla al fondo. Además, se encuentra a nivel del mar, con la correspondiente humedad relativa, pero donde el cambio climático origina golpes de calor. Esto provoca un brote de estrés y de bloqueo de maduración, lo que supone un incremento del IMF de 1,53 a 1,63, para posteriormente bajar y alcanzar 1,50. Esta

evolución positiva –estrés reversible– es debida al buen suelo y a la humedad relativa circundante, que permiten recuperar la planta.

Tabla 1. Influencia del suelo en la maduración. Evolución del IMC y del CP

IMF	Secativo	Medio	Fresco
07.09.2011	1,82	1,63	1,92
17.09.2011	1,77	1,64	1,67
05.10.2011	2,02	1,61	1,59
CP	Secativo	Medio	Fresco
07.09.2011	9,99	12,30	11,22
17.09.2011	13,74	12,82	14,53
05.10.2011	10,25	11,27	16,28
Tensión	500 kPa	385 Kpa	375 kPa

Gráfico 6. Evolución de los parámetros IMF y CP en un suelo grand cru



Fuente: Gracia (2011).

En viñedos que controlan la madurez con este sistema, situados en el centro de España, con elevadas temperaturas estivales y humedades relativas por debajo del 40 %, se consigue mantener un desarrollo vegetativo con un equilibrio de superficie foliar/kg adecuado, evitando que se desencadenen procesos de estrés irreversible y logrando una buena evolución de la maduración, mediante la realización de riegos muy cortos de refrigeración. En estos casos se puede alcanzar una producción máxima de 4.000 kg/ha con un consumo de agua de 700 a 1.000 m³/ha. Esto supone que, a un precio del agua de 0,50 euros/m³, esta técnica tiene un coste de 500 euros o lo que es equivalente de 0,125 euros/kg.

Según lo anterior, se supone que se puede salvar un bloqueo de maduración por estrés en un viñedo de poca producción por hectárea, destinada a mercados de vino *premium*, de alto valor añadido, donde no se puede permitir un cambio de calidad inherente a las características intrínsecas asociadas a la uva. La técnica es viable en las condiciones de temperaturas extremas, que se están viviendo actualmente, y si es posible hacer una aportación de agua

puntual con cisternas o bien por medio de una instalación de riego con un consumo muy moderado.

La situación es diferente para viñas con producciones estándar que van de 6.500 a 9.500 kg/ha, muy habituales en la geografía española. En ellas hay que plantear una viticultura de precisión en la que el esclarecimiento de uvas debe convertirse en una práctica habitual y científicamente calculada, intentando rentabilizar las que fueron eliminadas previas al envero.

Desgraciadamente, en un contexto de cambio climático continuado, habrá muchos viñedos que no lleguen a alcanzar el estado óptimo de maduración, adecuado para una vinificación de tintos de alta gama. Sin embargo, conociendo sus aptitudes y utilizando los análisis de control de maduración se pueden obtener vinos dignos de una buena calidad.

3. El índice de madurez y el perfil aromático del vino

Existe una relación entre el índice de madurez fenólica (IMF) y el perfil aromático del vino. Desde que se ha comprobado que la vendimia de uvas con un IMF próximo a 1,50 da vinos de mejor calidad, más suaves y con más volumen, se han comenzado a observar, con más detenimiento, las peculiaridades de otros obtenidos con uvas vendimiadas y con distintos IMF. Tras numerosos análisis –en muchas vinificaciones y en diferentes zonas– se ha visto que cada perfil aromático –herbáceo, fruta fresca, fruta madura, fruta sobremadura y balsámico– está asociado a un intervalo de valores del IMF (Tabla 2).

Tabla 2. Correspondencia entre valores de IMF y perfil aromático del vino elaborado

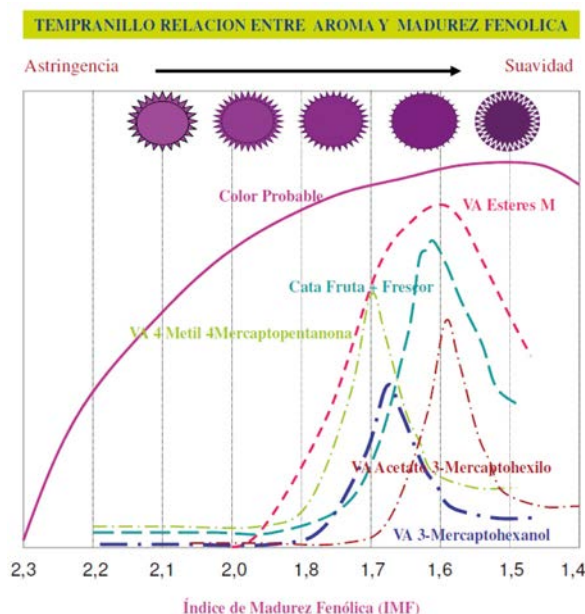
Perfil	Herbáceo	Fruta fresca	Fruta madura	Fruta sobremadura	Balsámico
IMF	> 1,65	1,65-1,55	1,55-1,45	1,45-1,35	< 1,35

Fuente: Gracia (2006).

Adicionalmente, en proyectos integrales mixtos de viticultura y enología, con control del estado de maduración por medio de este método, se han encontrado correlaciones entre notas de cata, análisis de compuestos aromáticos y valores de IMF. En el Gráfico 7 se muestran los resultados de varios ensayos de estrés hídrico realizados con tinto Fino en Castilla León –Ribera de Duero, Tierra de Medina, Toro y Benavente–. En ella se puede observar que el IMF

de 1,70 corresponde con el máximo valor de aroma del 4-metil 4-mercaptopentanona que, a su vez, se relaciona con la nota de aroma herbáceo; para el IMF de 1,67 se obtiene el máximo valor de aroma del mercaptohexanol, que se corresponde con los aromas tropicales relacionados con la fruta fresca y con el valor del IMF de 1,60 aparece el máximo valor de aroma del acetato 3-mercapto hexilo, que es el compuesto más relacionado con el tono de fruta fresca. En este valor de IMF se alcanza también el máximo correspondiente al sumatorio de todos los valores de aroma de los esteres mayoritarios. Es en este punto donde los vinos catados, valorando la intensidad de fruta y frescor, alcanzan el valor máximo de la suma de las dos notas de fruta fresca.

Gráfico 7. Relación entre los valores del IMF y las concentraciones de los compuestos del aroma



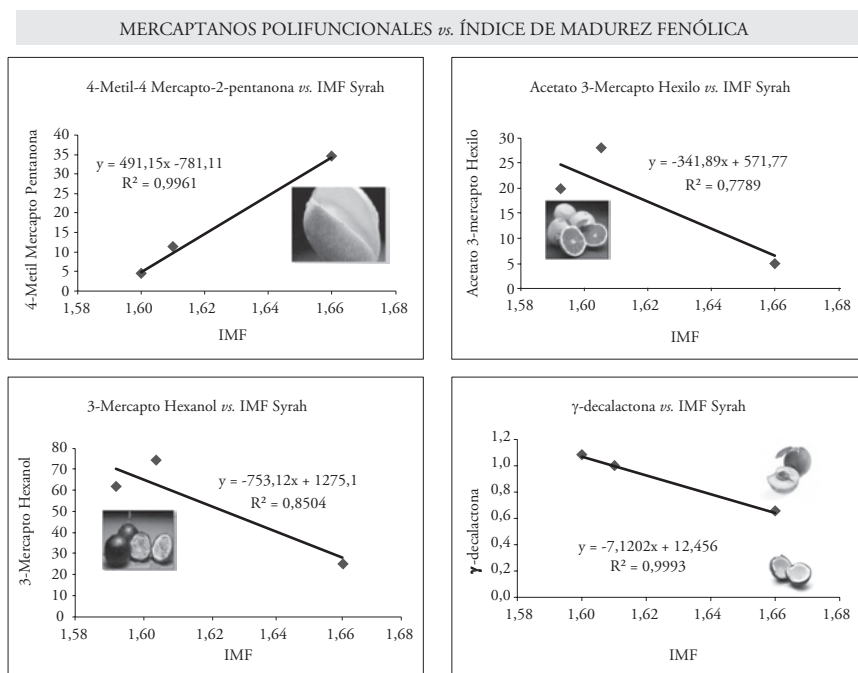
Fuente: Gracia (2006).

En el mismo proyecto se realizaron ensayos con Syrah –que está catalogada como variedad tiólica– y Prieto Picudo, para analizar su correlación con precursores aromáticos. En ellos se encontraron relaciones estrechas entre los valores de aroma de 4MMP y MeOH y los valores de IMF. En el caso de

Syrah, conforme disminuye el IMF lo hace también el valor de 4MMP. Se trata de un compuesto que, en pequeñas cantidades, aporta frescor y resalta sinérgicamente otros aromas pero que en cantidades superiores imprime el tono desagradable de verde-herbáceo. Asimismo, se ha comprobado que al disminuir el IMF, aumenta el acetato de 3-mercaptohexilo y el del 3-mercapto hexanol, sustancias relacionadas con la fruta fresca característica de esta variedad. Adicionalmente apareció un alto grado de correlación entre la disminución del IMF y el aumento de la gama decalactona. Además, se puede mostrar que cuando la uva madura y el IMF disminuye, crecen las concentraciones de los precursores aromáticos de los vinos obtenidos, entendiendo por tales a la suma de concentraciones de todos los compuestos, que se revelan después de la hidrólisis. Esto indica que la concentración de los precursores aromáticos que había en la uva ha pasado al vino y que posiblemente en la crianza se podrán revelar los aromas contenidos en los mismos. Cuando hay bloqueo de maduración se observa que si la uva se ha quedado con un IMF de 1,65 y si el vino no presenta taninos suaves –serán de una astringencia media–, el perfil aromático será de fruta fresca y los compuestos, anteriormente mencionados, –mercapto hexanol y acetato de 3-mercapto hexilo– presentarán su máximo valor. Esto es importante de cara a planificar la vinificación de estas uvas, ya que ‘bloqueo’ no significa destrucción de aromas, siempre y cuando se vendimie en el momento adecuado.

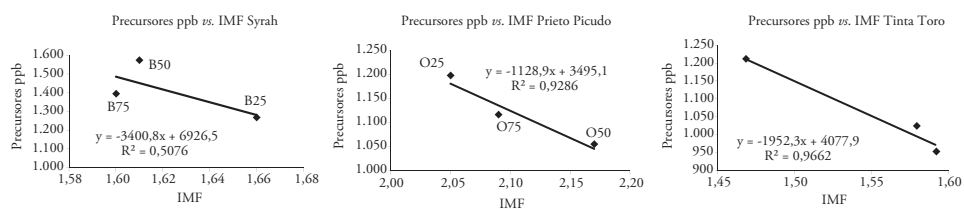
Por lo tanto, el método analizado integra un elevado número de atributos del vino, ya que predice: a) la intensidad colorante estable CP, entendida como la que presenta el vino una vez estabilizado por el frío y corregido a pH 3,50; b) la intensidad colorante del vino después de la fermentación alcohólica; c) los IPT mínimos del vino después de una maceración de 10 días; d) el índice de madurez fenólica (IMF); e) los antocianos a pH 1 (potenciales) en mg/l del método Glories; f) los antocianos a pH 3,20 (extraíbles) en mg/l del método Glories; g) el porcentaje MP de taninos procedentes de la pepita y h) el perfil aromático y las características del tanino del vino futuro (relacionado con porcentaje MP).

Gráfico 8. Correlación entre IMF y mercaptanos polifuncionales (notas de fruta fresca)



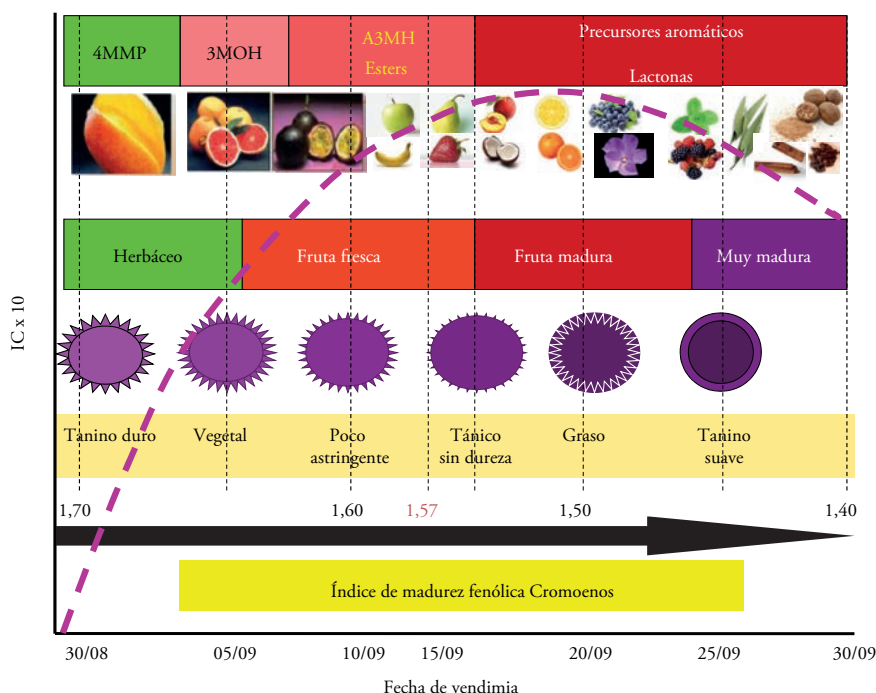
Fuente: Aromas LAEE V. Ferreira y Gracia (2014).

Gráfico 9. Correlación entre el IMF y la concentración en ppb de los precursores aromáticos



Fuente: Gracia (2014).

Gráfico 10. Integración de la relación del IMF con el color y los perfiles tánicos y aromáticos



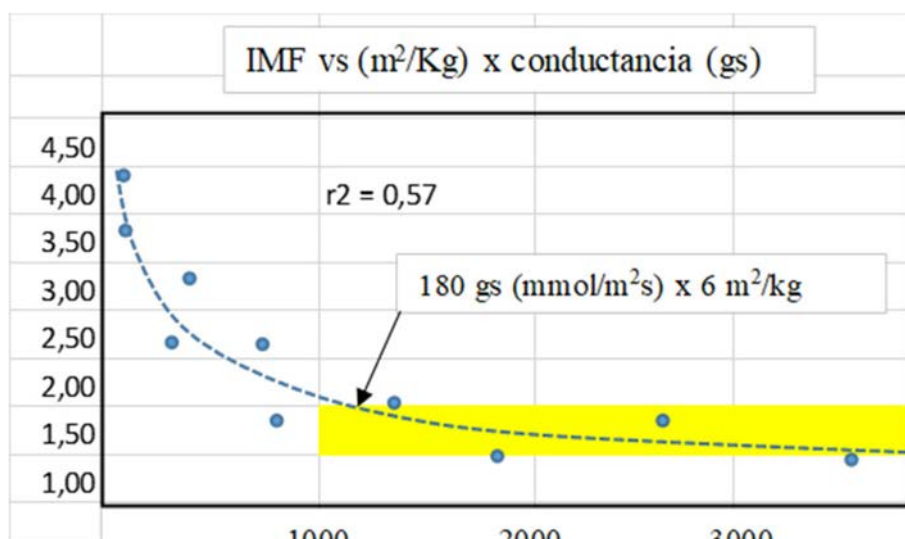
Fuente: Gracia (2014).

4. El IMF y los indicadores fisiológicos de la planta

Con los datos obtenidos por Cromoenos y por los indicadores fisiológicos de la planta se puede visualizar y proyectar el tipo de vino que se va a obtener. En los apartados anteriores se ha explicado que se puede intervenir para evitar el bloqueo de maduración, siempre que haya riego. Pero, ¿es posible relacionar los datos del viñedo antes del envero con el IMF y poder intervenir en el viñedo para intentar favorecer una buena maduración?

Se han realizado correlaciones entre el IMF y el rendimiento por cepa y se observa que, con un IMF de 2,00 se pueden obtener rendimientos que van desde 0,5 kg/cepa a 4,25 kg/cepa. Sin embargo, las relaciones son más estrechas cuando se analizan frente al equilibrio m^2/kg , frente a la conductancia estomática (grado de correlación de r^2 0,41) o frente al producto «equilibrio (m^2/kg) x conductancia estomática» (cuyo r^2 es de 0,57) (Gráfico 11).

Gráfico 11. Correlación entre el IMF y el producto del equilibrio m^2/kg por la conductancia (gs)



Fuente: Escalona y Gracia (2014).

Esto significa que si antes del envero se ajusta la capacidad para poder alcanzar estados de maduración óptimos, se pueden iniciar una serie de trabajos para adaptarse a los cambios bruscos climatológicos –descarga de uvas, despunte, incremento de la irrigación, etc.–, con una sistemática bien controlada. Parece ser que el edificio del vino –su estructura– se forma antes del envero, por tanto, durante la maduración hay que velar para que los ciclos de biosíntesis de los compuestos de calidad se realicen adecuadamente.

Esto significa que si se conoce la estimación de carga (en kg/cepa), la superficie foliar y la historia de la conductancia estomática para entrar en el margen de $\text{IMF} < 2,00$, se pueden eliminar racimos o bien iniciar ciclos cortos de riego para mejorar dicha conductancia.

Aunque este análisis corresponde a la viticultura, desde la enología hay que hacer hincapié en la importancia de que el racimo se configure para que los granos queden sueltos. Esto se debe a dos razones fundamentales: a) para mejorar la aireación y penetración de los productos fitosanitarios y b) fundamentalmente, para evitar que por engrosamiento ante tormentas persistentes, en época de maduración, se origine la explosión de granos por compactación de unos a otros y la consiguiente iniciación del proceso de podredumbre.

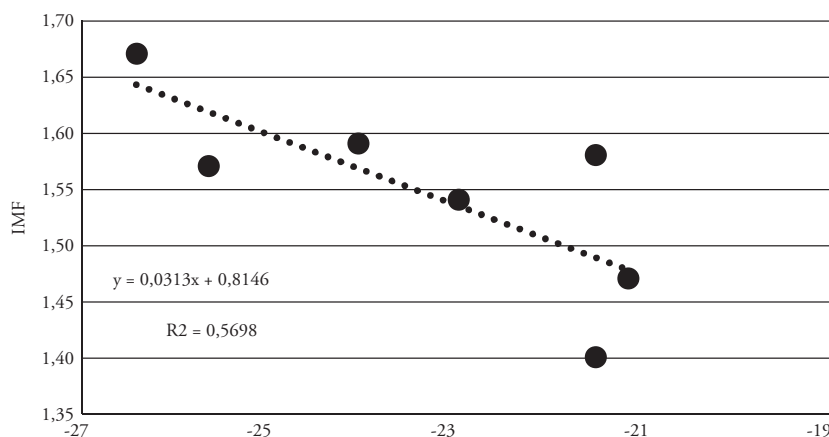
Si los racimos están sueltos y bien tratados se puede conseguir una excelente maduración. Si se trata de variedades de racimos compactos, el consejo es dejar una vara larga para favorecer el corrimiento del resto, ya que los racimos de la vara hacen la competencia a los que interesan. Si hay tormentas de gran intensidad antes del envero, estas sirven para hacer de acumulador de agua y de competencia al resto.

Existe también una relación entre el índice de madurez fenólica y el indicador fisiológico «estrés bueno Verde Smart». En Proyectos de I+D de viticultura de precisión se ha desarrollado un *software* que incluye un algoritmo donde se contempla el estrés acumulado, que es función de las medidas realizadas por dendrometría y de las variables de clima y del suelo. El resultado es un índice correlacionado con la conductancia estomática y con los IMF. Con este algoritmo, perfeccionado año tras año, se puede intervenir para marcar los riegos cortos y evitar los bloqueos de maduración; de igual forma que se puede intervenir eliminando uvas y hojas para mejorar el equilibrio antes del envero.

Otra relación interesante es la del índice de madurez fenólica con el indicador fisiológico «discriminación isotópica C^{13}/C^{12} » (Gráfico 12). La viña tiene cierta selectividad por el $^{12}CO_2$ en vez del $^{13}CO_2$; por lo tanto, en condiciones de estrés reducido, con los estomas más abiertos, el valor de $\delta^{13}C/^{12}C$ medidos en la glucosa, respecto al de referencia PDB, es más bajo (-26) que cuando los estomas están más cerrados y con más estrés hídrico, donde los valores de $\delta^{13}C/^{12}C$ son más altos (-21). Por tanto, los valores más cercanos a -26 son indicativos de menos estrés y los próximos a -21 de mayor.

Pues bien, al correlacionar los datos de IMF frente a los del ratio de discriminación isotópica $\delta^{13}C/^{12}C$ se comprueba que hay un grado de correlación r^2 de 0,569. Es decir, los valores bajos de IMF están relacionados con mayor tiempo de cierre estomático, esto es, con un cierto grado de estrés que no ha llegado a bloquear la maduración. Y los valores más altos están relacionados con mayor apertura estomática, es decir, se precisa de cierto cierre estomático (estrés) para que los valores de IMF empiecen a bajar. Lo peligroso es cuando ese estrés es tan fuerte que se bloquea la maduración.

Gráfico 11. Correlación entre el IMF y el índice de discriminación $\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$



Fuente: Santesteban y Gracia (2014).

5. Composición química y enzimática de las uvas procedentes de un bloqueo de maduración

Durante la maduración de la uva, además de incrementar la composición de azúcares y disminuir el contenido de los ácidos málico y tartárico, crece la composición en «antocianos» –libres, esterificados a los ácidos fenólicos, combinados a las catequinas y epicatequinas (poco polimerizados App) y a procianidinas condensadas (Amc) y polisacáridos (TP)–. A su vez, desciende el contenido en procianidinas del hollejo y de la pepita, teniendo estas un menor grado de polimerización y un mayor grado de galoilación. Por su parte, el contenido en aminoácidos aumenta siempre y cuando la cepa haya tenido el nutriente necesario de nitrógeno.

En el caso de estrés hídrico importante hay un desequilibrio en la producción de aminoácidos, aumentado notablemente la prolina –que es un «osmólito»–, es decir, crece la presión osmótica en el grano, evitando la evaporación del agua del mismo. Pero la prolina no es asimilable por las levaduras, lo que ocasiona grandes problemas de producción de aromas de reducción y de tioles malolientes.

Durante la maduración, los polisacáridos aumentan y cambian de estructura, siendo la fracción correspondiente a las ramnogalactorunanos II de especial importancia para apantallar el efecto astringente de los taninos verdes.

Además, disminuye la concentración de la fracción lipídica formada por triglicéridos de los ácidos grasos polinsaturados, como son linoleico, linolénico y oleico. Por ello, cuando por estrés hídrico hay una parada de maduración, aparecen granos con un contenido superior al normal de estos ácidos grasos polinsaturados que, por efecto de la enzima lipoxigenasa y el oxígeno, son precursores de los compuestos C6 hexanol y hexenol, de olor herbáceo. Pero además, la oxidación de estos ácidos va por la vía de los radicales libres, formando peróxido, que es muy oxidante y generador de compuestos de olor desagradable a partir de los aminoácidos.

Otro punto negativo del exceso de estos ácidos polinsaturados es que favorecen la multiplicación celular, estimulando la asimilación prioritaria de los aminoácidos azufrados (cisteína y metionina). Como ya se ha señalado, en ausencia de los mismos, la biosíntesis se inicia a partir de amonio (que hay que suplementarlo) y de precursores de azufre del mosto (sulfitos, sulfatos o productos de la degradación de proteínas). Cuando hay carencia de amonio o de aminoácidos suplementados se originan, en primer lugar, sulfhídrico y, posteriormente, mercaptanos y diversos tioles, francamente desagradables.

6. Técnicas de vinificación con paradas de maduración

Dentro de las paradas de maduración hay que distinguir dos tipos, con las consiguientes técnicas de vinificación.

6.1. *Cepas con una carga moderada*

Cuando el grado alcohólico probable alcanza valores normales de 12 a 13 % vol y los pH están dentro de datos habituales de 3,40 a 3,60 y, sin embargo, se aprecia que el IMF comienza a estabilizarse, o incluso a ascender, los taninos se quedan momentáneamente paralizados. En estas condiciones, si se riega es posible reiniciar la maduración y terminar con valores normales y si no se riega, la planta se bloquea e inmediatamente aumenta su graduación alcohólica de forma súbita, dejando los taninos sin madurar, pero con un contenido adecuado de aminoácidos y con los ácidos grasos insaturados en cantidades habituales.

En este caso, el problema radica en que hay que sacar los antocianos y los taninos, tratando de evitar la extracción de los taninos verdes galoilados de la pepita, y además hay que equilibrar bien con nutrientes ricos en aminoácidos.

En estos casos no se consiguen valores de IMF < 1,65, situándose entre 1,80 y 1,65. Entonces, lo aconsejable es utilizar técnicas de maceración que extraigan los antocianos en el menor tiempo posible con las pepitas y en presencia de la menor concentración de etanol. En todo caso, antes de macerar hay que equilibrar el mosto de acidez total, pH y nitrógeno. Para ello se puede recurrir al ácido tartárico y, dependiendo de la cantidad a corregir, hacer uso del sistema de resinas de intercambio catiónico. Para ello se pasa una parte del mosto, hasta alcanzar un pH de 2,00, y luego se dosifica el resto de la vendimia, hasta ajustar el pH a un valor adecuado de 3,50, por ejemplo.

Puesto que las uvas presentan antocianos no del todo maduros y tienen taninos verdes, hay que planear el tratamiento óptimo para suavizarlos, para lo que cabe utilizar levaduras no-Saccharomyces, que proporcionan volumen y grasa. Hay varias técnicas de maceración disponibles:

1. *Maceración corta*: se siembra, se fermenta y se remonta y al cuarto día se sangra y se prensa. Se debe de macroxigenar para producir biomasa y, una vez separados los hollejos, hay que microxigenar para combinar antocianos a taninos, estabilizar color y redondear taninos. Una vez terminadas las FML (fermentaciones malolácticas) se hacen los ensamblajes con el vino de prensa.
2. *Maceración fría a 10 °C, previamente enfriado con la acción de un intercambiador de agua glicolada fría (-5 °C)*: se deja 4 días hasta que la IC (intensidad colorante) no suba más y los IPT (índices de polifenoles totales) se mantengan bajos. Se atempera, se siembra y, cuando los IPT pasan de 50, se sangran y se prensan. Se lleva el mismo programa de macro y microxigenación.
3. *Maceración boreal*: la pasta se pone en contacto con CO₂ líquido, se enfría al instante sin contacto con oxígeno y se macera en frío como en el punto 2, y así se sigue. La ventaja es que se enfría al momento y el CO₂ ayuda a disolver pronto los antocianos y menos las procianidinas. Estas maceraciones se pueden optimizar mediante un sistema Ganimedes, que lanza las pepitas al fondo del depósito y se pueden eliminar diariamente, o bien haciendo *delestages*, esto es utilizando una prensa donde las pepitas son retenidas por las rejillas y el mosto-vino vuelve a la pasta. No obstante, cuando la uva no está madura –IMF

> 1,65–, los taninos del hollejo son verdes. Pero si se eliminan galoil-taninos de las pepitas se gana una batalla a la astringencia y verdor.

4. *Termo flash (78 °C) o maceración en caliente (55 °C) en cubas rotativas*: se hace una extracción en caliente, donde la materia colorante –estable e inestable– se extrae en pocas horas y los taninos en menor cantidad. En un tiempo que va de 1 a 10 horas se obtiene el mosto coloreado sin la presencia de hollejos ni de taninos verdes. En este caso hay que hacer un encimado previo al zumo, una vez refrigerado a 22 °C y antes de empezar a fermentar.

Este sistema da vinos con un perfil similar. Se produce una degradación térmica de las proteínas de la uva y aminoácidos, que generan un perfil aromático de fruta muy homogéneo en todas las variedades. Es importante hacer una buena microoxigenación en presencia de lías finas para conseguir cierto redondeo. Con estas uvas, procedentes normalmente de viñedos bien controlados pero donde la climatología bloquea la maduración en determinadas variedades, se pueden obtener vinos jóvenes muy dignos y de calidad.

6.2. Cepas con un exceso de carga

En cepas con exceso de carga, la maduración de la uva se bloquea, con los IMF muy elevados (taninos muy verdes) y, además, con altos contenidos de ácidos grasos insaturados. Es decir, se queda una uva verde y deshidratada, bien con grado alto –por concentración y no por maduración– o bien con poco grado –por bloqueo total–. Además, debido al proceso intenso de respiración, también con escasa acidez y pH alto, por lo que aparecen pocos antocianos y mucho tanino verde.

En estas circunstancias, lo más lógico y sensato es, si no se puede obtener un tinto digno, plantearse hacer una buena parte de rosado, e incluso un *blanc de noir*. Para ello, lo primero es realizar un escurrido rápido, es decir, conforme caen las uvas en la tolva ir obteniendo el mosto y, a continuación, el resto de la uva estrujada enviarla a depósitos llenos de anhídrido carbónico dotados de rejillas para sangrar por gravedad la mayor parte del zumo.

Una vez que el mosto está sangrado y refrigerado a 14/15 °C, como procede de uvas inmaduras con IMF > 1,80 –y seguramente, también las habrá con IMF > 2,50– lo primero que se debe hacer es eliminar los taninos oxidables,

que luego influirán en los aromas formados durante la fermentación. Para ello es preciso realizar una hiperoxigenación controlada mediante la medida del potencial redox. Existen dispositivos, como el Cylio, de la empresa Vivelys Patentado, que permiten obtener la dosis exacta de los ml/l de oxígeno, sin llegar a afectar a compuestos no oxidables fácilmente. De esta forma se procede a su oxidación, se flota con la ayuda de gelatina y bentonita y, si se quiere obtener un blanco, se añade carbón y PVPP. Se fermenta con levaduras de las que combinan poco sulfuroso y se obtendrían un blanco y un rosado muy dignos.

Antes de sembrar hay que pasar parte del mosto por las resinas catiónicas para obtener mosto a pH 2,00 y para corregir el pH de los blancos, rosados y tintos a vinificar con la pasta que queda. Y también, como el mosto se queda con poco grado, una parte hay que concentrarlo, bien por calor o bien por ósmosis.

Con la pasta que ha quedado, lo más adecuado es utilizar una termovinificación para extraer la materia colorante y, posteriormente, desfangan y equilibrar el grado, pH y NFA (nitrógeno fácilmente asimilable). Posteriormente, hay que sembrarlo y macroxigenarlo para hacer biomasa y, durante la fermentación, mantener un nivel de microxigenación que permita ir combinando taninos verdes con polisacáridos y manoproteínas de las levaduras.

Lo lógico es que, antes del envero, si se observa que el equilibrio (superficie foliar/kg) y la conductancia no van a permitir alcanzar el IMF idóneo, se proceda a una vendimia en verde previa. Los racimos verdes se procesan, obteniendo un mosto que se hiperoxigena para eliminar los taninos verdes. Para ello hay varias opciones: la primera es fermentarlo, para luego mezclar y corregir tanto la falta de acidez como el exceso de grado, y la segunda es pasarlo por resinas, para recuperar los ácidos málico y tartárico y los azúcares, por concentración, para su posterior adición a las uvas de viñedos con carencias.

Referencias bibliográficas

- BUSSE, N. (2013): «Proantocianidinas en uvas y vinos de las variedades Monastrel, Cabernet Sauvignon y Syrah»; *Tesis Doctoral* (25.01.2013). Universidad de Murcia.
- FANZONE, M. (2012): «Caracterización de la composición fenólica de uvas y vinos de la variedad Malbec (Vitis Vinifera L.): su relación con el origen geográfico, factores vitivinícolas y valor comercial»; *Tesis Doctoral* (Mayo 2012). Universidad Rovira i Virgili.

- GUZMÁN, M. (2010): «Manual de espectrofotometría en enología».
- HERNÁNDEZ-HIERRO, J. M.; QUIJADA-MORÍN, N.; MARTÍNEZ-LAPUENTE, L.; GUADALUPE, Z.; AYESTARÁN, B.; RIVAS-GONZALO, J. C. y ESCRIBANO-BAILÓN, M. T. (2014): «Relationship between skin cell wall composition and anthocyanin extractability of *Vitis vinifera* L. cv. Tempranillo at different grape ripeness degree»; *Food Chemistry* (146); pp. 41-47.
- HIDALGO, J. (2006): *La calidad del vino desde el viñedo*. Madrid, Mundiprensa Libros SA.
- KOUNTOUDAKIS, N. (2010): «Grape phenolic maturity; determination methods and consequences on wine phenolic composition»; *Tesis Doctoral* (15.07.2010). Universidad Rovira i Virgili.
- KOUNTOUDAKIS, N.; CANALS, R.; ESTERUELAS, M.; FORT, F.; CANALS, J. M.; y ZAMORA, F. (2009): «Maceración pre fermentativa en frío. Aspectos tecnológicos en la elaboración de vinos de crianza». *Revista de Enología ACE* (105); pp. 1697-4123.
- KONTOUDAKIS, N.; ESTERUELAS, M.; FORT, F.; CANALS, J. M. y ZAMORA, F. (2009): «Comparison of methods for estimating phenolic maturity in grapes: correlation between predicted and obtained parameters»; *Anal Chim Acta* 660(1-2); pp. 127-33.
- QUIJADA-MORÍN, N.; WILLIAMS, P.; RIVAS-GONZALO, J. C.; DOCO, T. y ESCRIBANO-BAILÓN, M. T. (2014): «Polyphenolic, polysaccharide and oligosaccharide composition of Tempranillo red wines and their relationship with the perceived astringency»; *Food Chemistry* (154); pp. 44-5.
- VILLALOBOS, L. (2011): «Ácido Abscísico: Importante modulador de la Ruta Fenilpropanoide en bayas de vid cv. Carménère»; *Tesis Doctoral* (marzo). Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- ZAMORA, F. (2008): «Nuevos métodos para la determinación de la madurez fenólica»; *V Encuentro Enológico: Control del viñedo en los vinos de calidad*. Madrid, Fundación para la Cultura del Vino.
- ZAMORA, F. (2009): «Metodologías para la determinación de la madurez fenólica; Aplicabilidad y capacidad predictiva». I Jornadas Excell Ibérica.
- JEAN-PIERRE GAUDILLÈRE, J. P.; VAN LEEUWEN, C. y TREGOAT, O. (2001): «L'évaluation du régime hydrique de la vigne à partir du rapport isotopique $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$. L'intérêt de sa mesure sur les sucres du moût à maturité»; *J. Int. Sci. Vigne Vin* 35(4); pp. 195-205.

Proyectos

- «Automatización del método Cromoenos de determinación del color probable en uvas (PCT00346) y desarrollo de un método rápido de determinación de la calidad sanitaria probable del vino a partir de la uva». (2004-2005-2006). INIA (Ministerio de Ciencia y Tecnología). Proyecto VINO – 019. Bioenos, SL.
- «Optimización de la Irrigación y Abonado. Control de los fenómenos redox para aumentar el carácter varietal diferenciador y preservar los aromas de fruta fresca». (2010-2011). Junta de Castilla y de León, Bodegas Antonio Barceló SA (Ribera Duero, Rueda, Toro), Agrícola Castellana S. Coop (Rueda), Bodegas Otero, SL (Zamora), Bodegas Fariña, SL (Toro-Zamora), Bodegas Montecastro, SA (Ribera), Inzamac (Zamora) y Bioenos, SL.
- «Simulación del clima futuro para la viticultura local con implicaciones prácticas en la gestión del viñedo». (2010-2012). Proyecto aprobado en febrero de 2010 por el CDTI en proyectos de cooperación intercompañía, realizado con Bodegas Luis Cañas, Dehesa Valquejigoso, Osborne y Bodega Martínez Payva, Fundación para la Investigación del Clima, FIC. Verde Smart.
- «Integración de nuevas tecnologías para la gestión inteligente del viñedo». N.º Expediente IDI-20140136. Ejecución: 5/04/2013-31/03/2015. Bodegas Emilio Moro, SL, Universidad Navarra L. Gonzaga Santesteban, Irnas, Verde Smart, Bioenos, SL.
- «Estudio Integral del comportamiento vitícola de las variedades autóctonas Mallorquinas en la DO BINISSALEM». N.º Expediente IDI-20160114. Ejecución: 25/12/2015-31/03/2018. Bodegas Franja Roja, SL, U. I. Balears, José Escalona, Universidad Autónoma de Madrid, Enrique Eymar Alonso, Verde Smart, Bioenos, SL.

Innovación y tecnología enológica frente al cambio climático

Pablo Ossorio

Oenoconsulting Ossorio & Ossorio SL

Resumen/Abstract

El cambio climático es una realidad contrastada que afecta de forma directa al perfil de los vinos que se están elaborando en los últimos 50 años. El mercado mundial del vino cada día es más exigente en calidad, bien sea para vinos *premium* o para vinos *low cost*. Desde la viticultura se puede interactuar para acondicionar los viñedos y hacer frente a este cambio, pero si las condiciones se vuelven extremas, en muchas ocasiones no será suficiente con la intervención en el viñedo. La tecnología y la reglamentación europea y de la OIV permiten corregir de forma natural la calidad de la uva procedente de estos viñedos. Los diferentes sistemas de elaboración adaptados a los equipos de última generación tecnológica que están comercializándose en el mercado vitícola facilitan la corrección de los mostos para poder obtener un vino de calidad adaptado a las exigencias del mercado.

.....

Climate change is a proven reality that directly affects the profile of the wines being produced in the last 50 years. The world wine market is more and more demanding in terms of quality, whether they are premium wines or low cost wines. Viticulture can use different tools to adapt the vineyards in order to cope with this change, but if the conditions become extreme, in many cases it will not be enough with just intervention in the vineyard. European and OIV regulations and oenological technology allow natural correction of the quality of the grapes from these vineyards. The different elaboration systems adapted to the state-of-the-art technological equipment that is being offered in the wine market facilitate the correction of the musts in order to obtain a quality wine adapted to the demands of the market.

1. Situación actual del sector vitivinícola con la incidencia del cambio climático

El sector vitivinícola está viéndose afectado directamente por el cambio climático, y todo ello se refleja en los vinos que se están produciendo en los últimos años en todas las partes del mundo y, más concretamente, en la zona mediterránea. Las vendimias, en líneas generales, se han adelantado de forma significativa, teniendo una media de 11 días de adelanto en los últimos 20 años. Esto lleva a tener que cambiar las reglas del juego en viticultura y, por supuesto, en las técnicas enológicas a aplicar en la elaboración del vino.

El adelanto en la maduración de la uva modifica la relación entre maduración alcohólica y maduración polifenólica, ya que las reglas de decisión para empezar la vendimia ya no se pueden basar solamente en el contenido de glucosa/fructosa, debido a que se ha desplazado la relación con respecto a la maduración fenólica. Las vendimias adelantadas hacen tener un grado probable de alcohol más alto para alcanzar un equilibrio de maduración fenólica y esto, de seguir así, llevaría a tener vinos de 16º sin madurez fenólica, con el consiguiente problema de falta de color, tanino verde, astringencia y falta de acidez.

La constante variabilidad entre la amplitud térmica en los procesos finales de maduración de la uva y la salinidad de las aguas subterráneas de riego por la falta de lluvias, conduce a tener unas uvas desequilibradas, con alto contenido de sales minerales, que afectan directamente al pH del vino, incrementándolo significativamente. Este incremento del pH del vino pone en riesgo su conservación, dando una evolución muy rápida e incontrolada con el paso del tiempo.

La sanidad de la uva es clave a la hora de elaborar un vino de calidad, y este factor también se está viendo modificado por el cambio climático debido a que las plagas, que en muchos casos son controladas por el frío del invierno, se están descontrolando, y esto va en detrimento de una viticultura sostenible, porque una plaga descontrolada significa una actuación directa de tratamiento en campo para garantizar su control y que no afecte a la uva.

El cambio climático está condicionando también los fenómenos meteorológicos e, incluso, los está convirtiendo en fenómenos externos, alterando los ciclos actuales de fríos y precipitaciones. El desplazamiento incontrolado del frío produce una brotación temprana y, si a esto le sumamos un frío tardío, conduce a una situación de desastre como la de la cosecha de 2017, donde en todo el centro de Europa y norte de España e Italia todos los viñedos se han visto afectados por una helada histórica. Y si a este desastre meteorológico

se le suma la sequía del sur de Europa, esto ha provocado la cosecha más corta de los últimos 50 años en la vieja Europa.

2. Las tendencias generales de consumo mundial y el efecto del cambio climático

El mercado mundial del vino está demandando, de forma generalizada, y cada día más, vinos con menos contenido de alcohol. Lógicamente, con la situación actual de aumento de temperaturas, cada vez es más complicado obtener vinos de baja graduación alcohólica de forma natural. Adicionalmente, el consumidor de tintos demanda vinos que sean suaves en boca, con tanino maduro, color suficiente y acidez equilibrada.

El efecto del cambio climático está complicando mucho alcanzar estos equilibrios que busca el consumidor. Si, por un lado, las vendimias se adelantan y aumenta el grado de alcohólico, y no se tiene el punto de madurez fenológica óptimo, se tendría que retrasar la vendimia, con el consiguiente y grave problema de alcohol excesivo para mantener el tanino en boca suave y maduro. Y si, por otro lado, se adelanta la vendimia, se tendría el grado óptimo deseado, pero en boca los vinos mostrarían un tanino verde y serían astringentes.

Hay variedades que están siendo demandadas por los consumidores en diferentes mercados, como es el caso de Garnacha, Tempranillo, Syrah, Mencía, Pinot Noir, Merlot, etc. Todas ellas tienen un denominador común, la suavidad en boca con el tanino dulce. Estas variedades suelen tener grados alcohólicos altos de forma natural y, de seguir con el efecto del cambio climático, se verían muy afectadas, porque podrían pasar a ser variedades de vinos alcohólicos en vez de equilibrados.

Lo mismo sucede con la acidez de los vinos, porque a más maduración sacarimétrica más degradación de los ácidos del vino, con la consiguiente bajada del pH y pérdida de la cantidad de los ácidos más importantes del vino, como el ácido tartárico, el málico y el láctico. Los vinos más comerciales siempre son vinos con un pH más alto, próximo a 4, porque el pH alto alivia la sensación astringente de un tanino poco maduro y aumenta la sensación dulce por la bajada de la acidez, pero lógicamente son vinos de gran rotación de consumo –máximo 6 meses–, mientras que los grandes vinos siempre tienen un pH buscado bajo, más próximo a 3, que es la garantía de la futura evolución positiva y lenta del vino de calidad.

La nueva tendencia de los vinos con burbujas, bien sea *frizzantes*, cavas, *champagne*, etc. es una alternativa muy idónea para elaborar uvas afectadas por el cambio climático, porque el adelanto de la vendimia es una buena solución para la elaboración de este tipo de vinos, donde se busca acidez y contenido sostenido de grado alcohólico. En líneas generales, estos vinos están entre los 5,5° y los 11° aproximadamente.

Los nuevos países consumidores de vino demandan vinos más fáciles de beber y esto se consigue, principalmente, con la adición de mosto concentrado rectificado. Bien sean vinos blancos, rosados o tintos, se les añade el mosto concentrado antes de embotellar, con concentraciones que van desde los 5 g/l hasta los 50 g/l según el gusto del consumidor en cada mercado. En los países europeos productores de vino no existe la costumbre de beber vinos con adición de mosto concentrado, pero eso no quita para que la edulcoración sea una técnica, hoy en día, muy importante para poder elaborar vinos destinados a la exportación.

El mercado del vino se está polarizando hacia vinos *premium* y vinos *low cost*. Los vinos *premium*, destinados al mercado del lujo, están creciendo continuamente debido a que las grandes riquezas siguen creciendo a nivel mundial. Cada día hay más ricos nuevos con poder adquisitivo suficiente para comprar vinos donde la calidad es muy importante, pero la puesta en escena casi lo es más. Por otra parte, los vinos *low cost* son vinos que, en muchos casos, provienen de uvas de viñedos de alto rendimiento y están elaborados para ser consumidos muy rápidamente, porque lo importante es tener el mejor precio.

3. La calidad de la uva que buscamos frente a la calidad de la uva que tenemos

En los últimos años, el viticultor está protagonizando un cambio en su tradicional forma de cultivo, por medio de la búsqueda de una producción masiva para paliar la falta de rentabilidad de sus viñedos. La calidad no se paga, como se debiera, por parte de las bodegas y el agricultor ha decidido coger el camino de producir más kilos de uva, y no más calidad de uva, y así mejorar, a corto plazo, la rentabilidad de su explotación.

Este cambio de modelo en la viticultura está exigiendo la aportación de grandes cantidades de agua en el viñedo y el apoyo externo de nutrición para enriquecer la planta, con el objetivo de poder alcanzar unas producciones muy altas por hectárea, por encima de 15.000 kg/ha e, incluso, 20.000 kg/ha.

Los parámetros que se buscan en el cultivo de una uva de calidad siempre van relacionados con una uva sana, con pocos tratamientos en el campo, muy madura, con buena relación de madurez alcohólica y polifenólica, donde las pepitas estén bien lignificadas, y el equilibrio entre el azúcar y la acidez permita obtener un pH lo más próximo a 3. Lógicamente, los parámetros que se obtienen de las uvas de gran producción son claramente opuestos, con uvas con un estado sanitario muy justo, con excesivos tratamientos en campo si el año se complica, con falta de madurez y desequilibrios entre la relación de maduración alcohólica y polifenólica, falta de concentración y un pH próximo a 4.

Para reducir estos efectos negativos se pueden utilizar diversas aplicaciones tecnológicas en campo. Se considera que el aclareo de racimos, el anillado y el deshoje temprano de los racimos son técnicas que puede tener efectos beneficiosos en la maduración fenólica, especialmente en la síntesis de antocianos y flavonoides. También existen productos de nueva generación a base de levaduras inactivas (*LalVigne Mature*), que son totalmente ecológicos, y que se utilizan con pulverización en campo al inicio del envero –y pasados unos 10 días del anterior tratamiento–, para conseguir incidir en la planta en el proceso de envero y que esta produzca más concentración de polifenoles y más proporción de piel para equilibrar mejor la madurez alcohólica y fenólica.

No obstante, la uva que se busca para elaborar un vino de calidad está reñida con la uva de alto rendimiento, por lo cual es necesario interactuar en bodega con diferentes técnicas tecnológicas para corregir todos y cada uno de los defectos que sea posible en la elaboración del vino.

4. Tecnología de vinificación para uvas de altas producciones afectadas por el cambio climático

Debido a los cambios bruscos de temperaturas y a las precipitaciones que se están produciendo en los últimos años, las condiciones sanitarias de las uvas en el campo se ven continuamente alteradas. El efecto del cambio climático hace que no se puedan prevenir muchos de los problemas que se están originando, sobre todo, en la fase final de la maduración, como lluvias intensas previas a la vendimia, tormentas de pedrisco que dañan el racimo, etc. Lógicamente, con este tipo de uva, y con estas condiciones, hay que elaborar el vino en la bodega, y para ello es necesario contar con diferentes tecnologías enológicas que ofrece hoy el mercado de la maquinaria vitivinícola.

4.1. El sistema decanter

El sistema integral con *decanter* es una opción que se está imponiendo en el mercado de las bodegas elaboradoras. Quizá no es un sustitutivo de las prensas neumáticas, pero sí que es una opción para tener en bodegas medianas y grandes como línea de proceso de uva fresca, sobre todo para blancos y rosados.

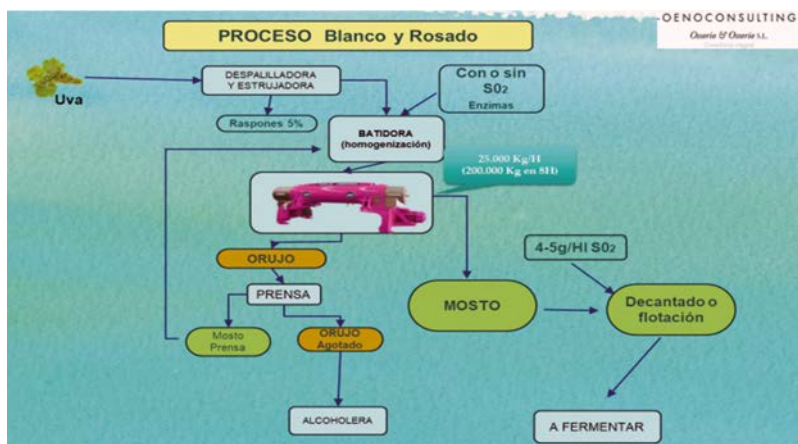
Cuando llega la uva en malas condiciones sanitarias a la bodega, e incluso con un porcentaje alto de botritis, es obligado interactuar rápidamente, por lo cual el sistema de prensado con prensas neumáticas no es conveniente, ya que entre el tiempo de carga de la prensa y el tiempo de prensado habría como mínimo unas 3-4 horas de contacto de la piel infectada con el mosto. En este tiempo se produciría una aportación total del hongo al mosto a fermentar, y esto crearía un problema en la calidad del vino final. La gran ventaja del sistema integral continuo con *decanter* es la rápida separación de la parte sólida de la líquida, evitando así un contagio de hongo al mosto resultante.

El sistema consiste en una homogeneización previa de la uva despallada en un depósito homogeneizador en el que se aplica una enzima específica para liberar rápidamente pectinas y facilitar, posteriormente, la separación en el *decanter*. Es importante tener en cuenta que en el proceso de separación sólido-líquido en el *decanter* se produce una fuerte oxigenación debido a la velocidad de rotación del propio *decanter*, por lo cual, con un sulfitado previo en la bomba de pastas previo al homogeneizador, a razón de 8gr/hl, sería más que suficiente, y así se evitarían el pardeamiento y la oxidación del mosto a la salida del *decanter* (Figura 1).

Una vez obtenido el mosto en el *decanter* hay que valorar la limpidez del mismo para decidir si se tiene que seguir limpiando el mosto con flotación con nitrógeno o, directamente, se puede llevar a fermentación. En pruebas realizadas en bodega con este sistema se consigue bajar la turbidez por debajo del 1 % de sólidos, y así es posible llevar el mosto que sale del *decanter* a fermentar y, posteriormente, con un protocolo de nutrición y aporte de oxígeno durante la fermentación, se consigue un vino blanco muy aromático y complejo.

En el caso de que existan problemas sanitarios con las uvas tintas, este sistema de elaboración en continuo con *decanter* es ideal, ya que se consiguen mostos rosados y se evita hacer un tinto que, solo con el contacto en depósito de 3 días con uvas botritizadas, produciría un vino tinto de baja calidad y con problemas de estabilización de la materia colorante y la oxidación.

Figura 1. Proceso de funcionamiento del *decanter*



Fuente: Oenoconsulting Ossorio & Ossorio.

Debido a la fuerte oxidación que se produce en el *decanter*, también se puede utilizar esta limitación como una virtud, ya que se podrían oxidar todas las sustancias susceptibles de oxidación y, así, eliminarlas en una flotación posterior con gelatina y nitrógeno, obteniendo mostos rosados, muy pálidos, que son muy demandados hoy en día en el mercado creciente de estos vinos.

Cabe señalar que este sistema integral con *decanter* para procesar uva fresca en continuo es una alternativa para años complicados de calidad de uva y, lógicamente, en años buenos de calidad sanitaria el resultado se ve recompensado por la mejora de la calidad del mosto resultante. Es decir, se trata de un sistema muy interesante para grandes volúmenes y para obtener vinos de calidad con un coste de proceso menor que el sistema de prensado neumático tradicional. Si a esto se suma que el *decanter* puede pasar los fondos de lías para sacar mayor rendimiento de vino en la elaboración, todavía lo hace mucho más rentable y a tener en cuenta para las inversiones de las medianas y grandes bodegas de elaboración.

4.2. La termovinificación

En los procesos de maceración pelicular para vinos blancos, rosados y tintos se observa que el contacto con las pieles mejora el potencial aromático, en complejidad, y el volumen de boca de los vinos, pero no hay que olvidar que

también aumenta el contenido de sales minerales como el potasio y el calcio, con el consiguiente aumento del pH y la baja de acidez.

En la elaboración de vinos tintos, una de las técnicas enológicas más interesantes que se pueden utilizar es la termovinificación en todas sus versiones. El calor es el mayor aliado para estabilizar microbiológicamente un mosto, ya que inhibe la acción de las enzimas oxidasas y, a la vez, permite obtener todo el color y los polifenoles de una forma muy rápida y sencilla. Solamente habría que tener cuidado de no excederse en temperatura para evitar la aparición de compuestos furfurales. El calentamiento que sufre la uva estaría entre 50 °C a 90 °C, y eso permite eliminar también compuestos que dan las uvas poco maduras como las pirazinas o los mercaptanos.

Dentro de la técnica de termovinificación existen en el mercado muchas opciones, y todas ellas viables, aunque unas mejores que otras en relación a la calidad del vino resultante. El método de termovinificación más básico consiste en calentar la uva hasta unos 60 °C durante unas 10-20 horas y, después, separar el sólido del líquido, bien sea con un sistema de prensado tradicional neumático o bien con un sistema de *decanter* (Figura 2).

Figura 2. Sistema de Termovinificador



Fuente: Equipo Reda.

Esta técnica de termovinificación ha evolucionado mucho y, hoy en día, el sistema que mejor funciona es la *Flash-expansión*, que consiste en elevar la

pasta de uva, previamente despallada, hasta los 85-90 °C en un período muy corto de tiempo para, acto seguido, enfriarla bruscamente por medio de vacío en expansión hasta los 35-40 °C. Se produce entonces una fuerte rotura debido al agua que bulle en las paredes del hollejo y en la pulpa, liberándose todos los compuestos fenólicos y recogiendo todos los vapores que se producen en el proceso para poderlos devolver al vino si lo cree oportuno el enólogo. Si no retornaran los vapores de agua, esto produciría una ligera concentración en alcohol que, en muchos casos, podría ser interesante también (Figura 3).

Figura 3. Sistema Flash-Expansión



Fuente: equipo Pera, Flash Detente.

Una vez obtenido el mosto tinto se procedería a fermentarlo en fase líquida con control de temperatura a unos 18-20 °C para obtener, mediante la aplicación de una levadura seleccionada, aromas varietales de la uva con aromas fermentativos originados por la levadura en fermentación.

4.3. La maceración en frío

La técnica tradicional del encubado en depósitos autovaciantes para la elaboración de los vinos tintos es ideal para trabajar con uvas muy bien equilibradas, donde la maduración alcohólica está equilibrada con la maduración fenólica, pero si esto no es así, se debería realizar una variante del proceso y la técnica tradicional. Las uvas que no están bien maduras fenológicamente hay

que trabajarlas en maceración en frío sin presencia del alcohol; es decir, en medio acuoso, ya que el alcohol es un extractor muy potente y poco selectivo, y si además se aumenta la temperatura a unos 28-30 °C, se extraerían todos los taninos astringentes y los caracteres vegetales.

Existen en el mercado varios sistemas para realizar este proceso de maceración en frío como el *Ganimede*, el *Ulysses* de Agrovín, o el *Air Mixing* de Parsec. Todas estas técnicas consisten en adicionar un gas, bien sea aire comprimido, CO₂ o Nitrógeno, para conseguir homogeneizar enérgicamente el depósito sin que se forme el sombrero en la parte superior del mismo. La ventaja del sistema es que la maceración intensa en frío evita la extracción de tanino verde, aumenta la presencia de fruta y optimiza el coste energético, porque consigue disipar bastante el aumento de temperatura en el depósito, con el consiguiente ahorro energético en frigorías.

4.4. Nuevas técnicas de extracción

Existen otras técnicas recientes en el mercado que están en fase de autorización por parte de la OIV, tales como la extracción por ultrasonidos para vinos tintos y blancos (Figura 4), que ya se encuentra en la etapa 3 de la Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV), y que está demostrando que con uva en estado sanitario óptimo se obtienen muy buenos resultados en cuanto a extracción de materia colorante y polifenoles, y un aumento del potencial aromático, con mejora en la sensación de volumen en boca. Lo más interesante de esta técnica es el rendimiento energético en comparación con la *flabs-expansión*, ya que la relación de consumo energético es 10 veces menor que en el sistema de extracción por ultrasonidos.

La técnica con impulsos eléctricos también es muy interesante como sistema de extracción, pero todavía tiene que evaluarse por parte de la OIV para convertirse en una técnica autorizada.

La limpidez de los vinos una vez elaborados es algo a tener en cuenta, y más cuando la uva de inicio no está completamente sana. Para este proceso habría que utilizar dos sistemas de centrifugación física, como el *decanter* para vinos muy sucios y la centrífuga vertical para vinos con más limpidez. La eliminación de una lía que no sea muy sana evita problema de reducción y de estabilidad de la materia colorante, ya que la lía del vino es un gran absorbente de materia colorante.

Figura 4. Equipo de Ultrasonidos Perseo



Fuente: Agrovín.

4.5. Concentración de azúcares y mostos

Otro de los problemas de elaboración puede aparecer en la última fase de maduración de la uva por falta de concentración de azúcares. Esto es debido, principalmente, a un exceso de calor con falta de agua, lo que hace que la planta se bloquee y no se consiga obtener un grado de alcohol potencial suficiente. Si a todo esto se suma una lluvia de tormenta justo en la semana de vendimia, y una carga abundante de uva en la planta, se acentúa el problema de falta de grado.

La normativa europea es muy clara a la hora de legislar los límites del aumento artificial del grado alcohólico natural de los mostos (Rgto. UE/1308/2013, Anexo VIII Parte I, A; L23/2003 art. 10). Establece que cuando las condiciones climáticas lo requieran en algunas zonas vitícolas de la UE los Estados miembros podrán autorizar el aumento del grado alcohólico volumétrico natural de la uva fresca, del mosto de uva, del mosto de uva parcialmente fermentado, del vino nuevo en proceso de fermentación y del vino obtenido a partir de variedades de uva de vinificación que sean clasificables. El aumento se deberá llevar a cabo mediante prácticas enológicas autorizadas, por calor para el mosto concentrado y rectificado, por osmosis inversa o por vacío para el mosto natural.

La adición de mosto para el aumento artificial del grado alcohólico volumétrico natural no puede sobrepasar los siguientes límites:

- 3 % vol. en la zona vitícola A.
- 2 % vol. en la zona vitícola B.
- 1,5 % vol. en la zona vitícola C.

En los años en que las condiciones meteorológicas hayan sido excepcionalmente desfavorables, los Estados miembros pueden solicitar que se aumenten en un 0,5 % más los límites autorizados. Con estas reglas de juego es posible solucionar el problema de falta de grado alcohólico potencial en la uva, bien sea con la adición de mosto concentrado y mosto concentrado rectificado, o con técnicas de concentración de la uva natural por medio de equipos de ósmosis inversa y de vacío a baja temperatura.

La concentración de mostos previamente sulfitados conlleva que, en primer lugar, por medio de torres de concentración se elimine el contenido en sulfuroso e, inmediatamente, se pase a la concentración del mosto (Figura 5). El mosto rectificado sería un mosto previamente concentrado por medio de cualquier técnica autorizada al que, posteriormente, se le elimina la acidez y las sustancias no deseables para dejarlo lo más neutro posible. Lógicamente, este tipo de mosto concentrado rectificado no aporta calidad al vino final, ya que simplemente se utiliza para que no desvirtúe el vino base aportándole el contenido de alcohol necesario.

Figura 5. Planta de concentrado de mostos por calor



Fuente: elaboración propia.

Las técnicas de concentración del mosto natural que aportan más calidad al vino final son la ósmosis inversa y la concentración por vacío. La ósmosis inversa es una técnica que respeta bastante la calidad del mosto, pero que plantea un problema importante con su limpidez al someterlo a este proceso. Hay que tener un mosto muy limpio, con menos de 20 ntu de turbidez para poder pasarlo a través de la membrana selectiva y no tener problemas de colmatación. El mosto tiene que estar bien despectinizado para evitar que genere una ligera baba sobre la membrana y la tamice. Es una técnica interesante pero bastante lenta, con un coste alto en consumo de membranas específicas (Figura 6).

Figura 6. Equipo de ósmosis inversa para mostos



Fuente: DF Separtech. Elaboración propia.

La técnica más apropiada para el concentrado del mosto natural es la de concentración por vacío (Figura 7). Las exigencias de limpidez de los mostos son mínimas, simplemente con que el mosto no contenga partes sólidas es suficiente. El rendimiento es mayor que en la ósmosis inversa y la temperatura de proceso nunca excede de 20-22 °C en la campana de evaporación. Con estos sistemas de concentración lo que se consigue es concentrar todos los componentes del mosto, incluida la acidez total y las sales minerales. Los mostos concentrados por esta técnica van a producir vinos mucho más aromáticos y frescos que los mostos con adición de mosto concentrado rectificado.

Figura 7. Equipo de concentración por vacío



Fuente: Equipo Reda.

Tanto la técnica de ósmosis inversa como la de concentración por vacío, sobre el mosto natural, siempre son más caras que la adición de mosto concentrado rectificado, pero la calidad del vino resultante es superior en los sistemas de proceso en frío que en los de calor.

4.6. El pH y la acidificación

La problemática que plantea en líneas generales el aumento del pH viene también asociada al cambio climático y al aumento de rendimientos de producción en viñedos con apoyo de agua y otras sustancias aplicadas directamente en el sistema de riego. El abuso, en muchos casos, en la extracción subterránea de agua y la limitación de los acuíferos por sequías prolongadas está haciendo que las aguas naturales se estén salinificando, cosa que ya está ocurriendo en otras partes del mundo como Australia, donde los contenidos en sales están perjudicando de forma significativa, en muchos casos, a la planta.

La adición de ácidos es la forma más simple y sencilla de combatir este aumento del pH y la falta de acidez total en los mostos y vinos, pero siempre dentro de un orden, ya que el abuso de ácido para bajar el pH y corregir la acidez total de los vinos muchas veces los desequilibra, dejando vinos punzantes y aumentando el efecto astringente en los vinos tintos. La OIV está planteándose el aumento de la acidificación que, a día de hoy, está en 4 g/l, hasta los 5 g/l, lo que en cierto modo no molestaría, sobre todo para las zonas mediterráneas, pero con el uso de otras técnicas complementarias sería más que suficiente el valor actual.

El ácido tartárico es la base de la acidificación para la corrección del mosto en vendimias. Una vez fermentado el mosto, y convertido en vino, se tiene también la posibilidad de añadir más ácido tartárico –pero en menores dosis que en mostos para no desequilibrar–, y otros ácidos como el cítrico, con un valor máximo de adición de 1 g/l y, el recientemente autorizado, ácido láctico como ácido de final de preembotellado. Existen otros ácidos que se están utilizando en algunos países, como el ácido málico y el ácido fumárico que, al igual que los anteriores, también consiguen el mismo efecto de acidificación y reducción del pH.

Hay que tener en cuenta que la acidificación, en ciertos estadios de vinificación de un vino, puede tener una repercusión negativa dependiendo del tipo ácido que se utilice. Por ejemplo, la acidificación con 0,5 g/l de ácido cítrico con concentraciones bajas de sulfuroso, y en presencia de bacterias lácticas, puede conllevar un aumento de la acidez volátil del orden de 0,18 g/l a 0,24 g/l. Es evidente que reducir el pH es la clave para garantizar la vida del vino y, por otra parte, bajar el contenido total de sulfuroso, debido a que la acción del aumento del sulfuroso molecular está directamente relacionada con el pH del vino y con el contenido de sulfuroso libre del mismo.

La industria del vino está reaccionando al problema con diferentes técnicas que, recientemente, se han autorizado por parte de la UE y la OIV, como es el tratamiento de resinas catiónicas en mostos y vinos (Figura 8). Esta técnica nace como una solución para la mejora de la estabilidad tartárica de los vinos por medio de la eliminación de parte del contenido de sales minerales responsables de la inestabilidad salina de un vino, como son el potasio y el calcio.

Figura 8. Equipo de intercambio catiónico



Fuente: FreeK Agrovín.

La técnica fue autorizada por la OIV y la UE para estabilizar los vinos, pero hoy en día es más utilizada para la bajada del pH en los mostos y vinos, con la consiguiente liberación de los ácidos que están asociados al potasio y el calcio. Solamente se autoriza el tratamiento de un máximo del 20 % del vino total a tratar; para ello se pasa el 20 % del vino o mosto por el intercambiador de resinas catiónicas y el equipo secuestra todo el potasio y el calcio de ese mosto o vino. El pH del vino tratado al 100 % por el equipo de intercambio catiónico da un resultado entre pH 2 y pH 2,3, con una acidez total, dependiendo del tipo de vino o mosto, de entre 7 g/l y 9 g/l, expresada en ácido tartárico. Una vez mezclado el 20 % del vino pasado por el equipo de intercambio se reduce el pH 0,2 aproximadamente, con un aumento de 1 g/l de acidez total debido a la liberación de los ácidos que están asociados al potasio y al calcio.

4.7. Electrodialisis

Otra de las técnicas autorizadas por la OIV, que se están empleando actualmente en la industria vitícola, es la electrodialisis, que se utiliza princi-

palmente para estabilizar el vino frente a la precipitación de sales de tartrato potásico y tartrato cálcico (Figura 9). La técnica se basa en el uso de membranas que crean campos eléctricos para separar soluciones ionizantes, basándose en el mismo principio que se utiliza en la desalinización de las aguas marinas. En el tratamiento del vino se retiran selectivamente cationes de potasio y de calcio, más aniones de tartárico que van asociados a la precipitación tartárica. Esta técnica también coadyuva a la disminución del pH del vino y mejora la relación del sulfuroso molecular en la relación de pH y sulfuroso en estado libre para mejorar la conservación del vino a lo largo de su vida en la botella.

Figura 9. Equipo de Electrodialisis



Fuente: elaboración Propia.

4.8. Oxigenación

Los vinos tintos procedentes de uvas que no presentan buen equilibrio entre la maduración sacarimétrica y la maduración polifenólica van a estar marcados a lo largo de su vida por el verdor, la falta de color y la astringencia herbácea, en el supuesto de que se elaboren con sistemas tradicionales. La aplicación de oxígeno controlado en el proceso de elaboración de este tipo de vinos favorece de forma significativa la eliminación de la parte vegetal, la

disminución de la astringencia y la estabilidad de la poca materia colorante del vino.

Las técnicas de la macrooxigenación y la micro-oxigenación constituyen un ejemplo del control del oxígeno aportado al vino con el fin de mejorar la calidad. En la fermentación se aplica la macro-oxigenación con valores que pueden ir desde 2 mg/l hasta 4 mg/l diariamente (Figura 10). En este momento de la fermentación la necesidad de oxígeno es muy alta, ya que las propias levaduras tienen un gran consumo. Una vez finalizada la fermentación alcohólica habría que ajustar las dosis entre 30 mg/l mes hasta 60 mg/l mes dependiendo de la limpidez y temperatura del vino; a mayor limpidez, menor aportación de oxígeno y, a menor temperatura, menor aporte de oxígeno también.

El trabajo con el oxígeno siempre hay que hacerlo, durante la elaboración del vino, hasta la fermentación maloláctica, ya que una vez que se ha producido suficiente etanol con el aporte de oxígeno las propias bacterias lácticas absorben gran cantidad de acetaldehído y dejan el vino muy estable en color, aromática y gustativamente.

Figura 10. Equipos de macro y micro oxigenación



Fuente: Equipo de Oxigenación Dosiox de Agrovin.

4.9. Biotecnología

La biotecnología es otro aliado interesante que evoluciona muy rápidamente teniendo en cuenta las necesidades del mercado. La innovación continua para atajar los problemas que está planteando la incidencia del cambio climático en el sector vitivinícola lleva a tener que utilizar esta herramienta biológica de forma usual en las elaboraciones de los vinos.

La gran gama de levaduras comerciales que existen en el mercado enológico ofrecen varias opciones para escoger en la elaboración de un vino. Por un lado, están las levaduras con alto rendimiento en alcohol, que son ideales para la elaboración de uvas con poco contenido en azúcar y, por otro lado, las levaduras de bajo poder de producción de alcohol, para uvas de un gran contenido en azúcar. Estas levaduras, que son capaces de consumir más de 18-20 g/l para producir un grado de alcohol, casi siempre van asociadas a una mayor producción de glicerol, que por otra parte tiene un efecto positivo, sobre todo, en la sensación de viscosidad y dulzor en boca.

También existen levaduras que pueden degradar el ácido málico en fermentación, produciendo fermentaciones malo-alcohólicas, como la *Schizosaccharomyces pombe*, y levaduras que hacen justamente lo contrario, aumentar la acidez total para equilibrar los vinos que provienen de uvas con acidez muy baja (Figura 11).

Figura 11. Levadura específica para la bajada del grado alcohólico y disminución del pH



La adición de derivados de levadura en la fermentación también mejora el contenido de polisacáridos y mano-proteínas en el vino resultante con la mejora del volumen, la viscosidad y la sensación de dulzor en boca.

4.9. Nuevos productos enológicos

Los nuevos productos enológicos autorizados por la OIV y la UE también mejoran la calidad de los vinos afectados por el nuevo escenario en la producción de uva afectada por el cambio climático. La adición del CMC para la estabilidad de vinos blancos y rosados ayuda a mejorar la acidez de los vinos, ya que con este tratamiento no hay que someterlos a condiciones extremas de -5 °C para precipitar las sales de tartrato potásico y tartrato cálcico, con la consiguiente disminución de la acidez total del vino. Lo mismo sucede con el Poliespartato, que recientemente ha sido autorizado por la OIV, lo que resuelve el problema de la estabilidad de los vinos tintos sin la necesidad de tener que pasarlos por tratamiento de choque térmico en frío, con la pérdida de acidez y materia colorante que esto conlleva.

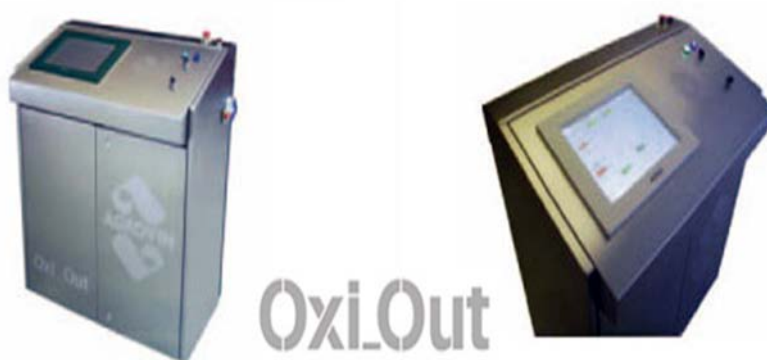
La goma arábica es otro producto interesante para la estabilización de los vinos tintos y, sobre todo, para esos vinos tintos de poco color y con alta inestabilidad, ya que cualquier tratamiento con frío haría que precipitara el color, produciendo un vino deficiente y poco comercial. Desde la OIV se está debatiendo un aumento de las dosis autorizadas máximas de 0,3 g/l, para pasarlas a 0,8 g/l.

4.10. Eliminación del oxígeno

Durante los procesos productivos en bodega, la eliminación del oxígeno disuelto en los vinos es la clave para garantizar su óptima conservación a lo largo de su vida, evitando oxidaciones. El sulfuroso en estado libre es el protector por excelencia del vino, pero si a este sulfuroso libre se le mejoran las condiciones con la eliminación del oxígeno disuelto, con valores inferiores a 0,5 mg/l, se consigue que ese sulfuroso persista mucho más tiempo en estado libre ya que, al no combinarse con el oxígeno disuelto, se puede garantizar la vida útil del vino durante más tiempo.

En el mercado existen sistemas de membranas selectivas que eliminan el oxígeno disuelto existente en el vino, bien sea por vacío o bien por intercambio con gases como el nitrógeno o el carbónico (Figura 12). Con este tipo de máquinas es posible garantizar el embotellado del vino por debajo de 0,5 mg/l de oxígeno disuelto en la botella. Si se utiliza como gas de intercambio el CO₂ también es posible conseguir una ligera gasificación en el vino como resultado del intercambio en la membrana selectiva en la eliminación del oxígeno.

Figura 12. Equipo de eliminación de oxígeno con membrana selectiva



Fuente: Oxi-Out Agrovín.

No bastaría con eliminar solamente en línea el oxígeno disuelto del vino en el proceso de embotellado, sino que habría que utilizar embotelladoras de nueva generación, que gestionen muy bien el control de los gases en el embotellado, para evitar que durante el proceso del mismo se incorpore nuevamente oxígeno disuelto al vino. Este tipo de llenadores, que garantizan el embotellado sin aporte de oxígeno, serían preferiblemente isobarométricos.

6. Conclusiones

Las exigencias del mercado mundial del vino son cada día más grandes y los bodegueros tienen que adaptarse al perfil de calidad que está demandando el mercado. Ya no sirve con elaborar de forma artesanal el vino procedente de viñas viejas, sino que hay que tener un vino de calidad adaptado al mercado.

La influencia del cambio climático está afectando directamente al cultivo de la vid, viéndose modificadas las condiciones tradicionales de cultivo para obtener uva de calidad. Las prácticas culturales destinadas a corregir las carencias y excesos provocados por este cambio climático son la base para garantizar una uva de calidad, pero no siempre son suficientes para conseguirlo.

La búsqueda del equilibrio entre maduración fenológica y sacarimetría es el nuevo hándicap para la viticultura del siglo XXI. Los vinos elaborados con uvas desequilibradas no son de calidad ni, mucho menos, comerciales. La elaboración de un vino de calidad viene definida desde la recepción de la uva en la bodega. Las bodegas no están preparadas en muchos casos para elaborar la uva que no está perfectamente madura y equilibrada en contenido de azúcar fenológico. La tecnología es el gran apoyo que tiene el bodeguero en la elaboración de un vino de calidad procedente de uvas desequilibradas.

La corrección de las diferentes carencias de los mostos antes de ser elaborados es la base del éxito en la elaboración del vino. Todos los tratamientos que haya que hacer en el vino siempre es mejor hacerlos en los mostos que en el vino final. Los pH elevados y la acidez total alta de una uva desequilibrada deberán ser corregidos en los mostos, bien sea con adición de ácido tartárico o mediante el tratamiento de resinas de intercambio catiónico. Lo más aconsejable sería tratar con resinas para retener parcialmente el contenido de Potasio y Calcio en los vinos, liberando los ácidos asociados a estas sales con el consiguiente aumento de la acidez total y bajada del pH.

Los sistemas de vinificación con uvas desequilibradas con falta de maduración fenológica tienen que ser prácticamente en continuo, utilizando métodos físicos de separación y extracción y, en muchos casos, para los vinos tintos, la utilización del calor como técnica de extracción rápida estabilizándolos microbiológicamente.

La falta de contenido de azúcar en los mostos en los años excesivamente calurosos con buena carga de uva en la viña genera un problema que se puede resolver en bodega con equipo de concentración en frío o con adición de mosto concentrado. La tecnología de concentración del mosto fresco a baja temperatura es la más aconsejable para la mejora de la calidad el vino resultante.

La gestión del oxígeno en fermentación para eliminar la parte más vegetal y conseguir la estabilización del color en los vinos tintos es clave para mejorar la calidad. Por otra parte, una vez fermentado el vino, el oxígeno se convierte

en su mayor enemigo, y por eso hay que controlar con precisión la eliminación del oxígeno disuelto para evitar la oxidación prematura del vino.

La biotecnología en la industria vitivinícola es otra herramienta que puede utilizar el enólogo para mejorar las carencias de calidad de la uva en fermentación. Las levaduras de alto rendimiento de alcohol, y precursoras de aromas fermentativos con control de temperatura para uvas de baja concentración de azúcar, ayudan a conseguir el vino deseado. Para uvas con contenidos altos de azúcar existen levaduras específicas que, en fermentación, tienen un consumo mayor de glucosa/ fructosa para obtener 1 grado de alcohol, con la consiguiente bajada del contenido alcohólico.

La importancia de tener la tecnología necesaria en la bodega a la hora de elaborar un vino desequilibrado es lo que permite garantizar, año tras año, que los vinos elaborados tengan la calidad necesaria sin estar sometidos ni condicionados a las variaciones de la calidad de las diferentes añadas.

Referencias bibliográficas

- DE SERDIO FERNÁNDEZ, E. (2009): *Diccionario profesional del vino*. Global Marketing Strategies; pp. 644.
- LEFEBVRE, F. (2017): *Memento Práctico 2018-2019*. FEV; pp. 663.

La sostenibilidad de las bodegas españolas

Oportunidades de mitigación en materia energética

Javier Carroquino Oñate
Universidad de Zaragoza

Resumen/Abstract

El cambio climático es especialmente grave para el sector vitivinícola, debido a su dependencia del clima y a la naturaleza de sus productos. Dado que el 65 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero proceden del uso de combustibles fósiles para producción de energía, la sustitución de estos por recursos renovables constituye el principal medio de mitigación. El consumo de energía es muy importante para el sector vitivinícola, tanto en viñedo como en bodega, y lo será todavía más debido a la adopción de algunas medidas de adaptación, como el aumento de los riegos o de la refrigeración. La ubicación de viñedos y bodegas en un entorno seminatural facilita y aconseja la producción de energía *in situ* desde fuentes renovables, tanto para sustituir o complementar tanto la electricidad de la red como el gasóleo. Así pueden reducirse las emisiones asociadas a la actividad y al producto, sin necesidad de alterar los procesos de cultivo y vinificación. Las bodegas tienen buena disposición para implementar este tipo de medidas de mitigación, pero se requiere mayor información y un mejor acceso a la financiación.

.....

Climate change is especially serious for the wine sector, due to the dependence of the vine and wine on the local weather. Energy production through combustion of fossil fuels is responsible of 65 % of the total emission of greenhouse gases. Hence, substitution of this production by renewable sources is a major means of mitigation of the climate change. Energy is an important input for the wine sector, both in the vineyard and in the winery. Adaptation to climate change will make this input even bigger, as an increase in refrigeration and irrigation are a need in warmer environments. Fortunately, the usual location of vineyards and wineries in semi-natural environments facilitates (and advises) the on-site production

of energy from renewable sources. The electrical grid or a diesel generator can be advantageously replaced by solar panels. In this way, the emissions related to the activity and the product can be reduced, without the need to modify the vine cultivation or the vinification processes. Most wineries are willing to implement this type of mitigation measures, but more information and better access to financing are required.

1. El sector vitivinícola ante el cambio climático

Desde hace algunos años, las actividades económicas, en general, están siendo revisadas en lo referente a su sostenibilidad. El sector vitivinícola no es ajeno a ello, teniendo razones para tomarse muy en serio el cambio climático. Por una parte, el cultivo de la uva y la calidad y producción del vino se pueden ver gravemente afectados por las variaciones del clima. Por otra parte, el vino es un producto fuertemente asociado a las zonas y regiones donde se produce, siendo problemática cualquier deslocalización de la producción. Además, en las decisiones de compra de los consumidores está siendo cada vez más valorada la imagen de sostenibilidad asociada al producto (Sellers-Rubio y Nicolau-Gonzalbez, 2016). Por todo ello, la implicación del sector en las acciones de mitigación y adaptación del cambio climático es una necesidad para su propia supervivencia (Mozell y Thach, 2014).

Son múltiples las acciones de adaptación y mitigación que pueden implementarse en las actividades vitivinícolas. Para ello no siempre es necesario fijarse en el proceso vitivinícola estrictamente hablando, sino también en el uso que se hace de los insumos, entre ellos el agua y la energía, que contribuyen de forma importante a la huella hídrica y de carbono del producto. Esto no requiere modificar apenas los procesos de producción, sino que se centra en la gestión de los recursos utilizados.

En cuanto al agua, pueden mencionarse, entre otras estrategias, su reutilización y reciclado en bodega y viñedo, el aumento de la eficiencia de su uso en el riego por goteo y la aplicación de estrategias de riego deficitario. Entre las relacionadas con la energía, se da la paradoja de que la adaptación al cambio climático puede requerir mayores consumos en refrigeración para compensar las altas temperaturas en bodega, para el tratamiento de su agua residual o para la extracción y presurización del agua en el viñedo, mientras que la mitigación requeriría reducir el consumo de energía. Afortunadamente, para reducir las emisiones se puede utilizar energía de origen renovable. Adicional-

mente, es necesario el conocimiento de los propios consumos de energía y las medidas de eficiencia energética.

En general, para mitigar el calentamiento global hay que rebajar la huella de carbono del producto, reduciendo las emisiones de CO₂ de la actividad (FIVS, 2016), de las cuales más del 21 % corresponden al uso de energía, estimado en 105.243.600 GJ en el sector vitivinícola mundial (Smyth y Russell, 2009). En consecuencia, la energía es un factor fundamental en la sostenibilidad del proceso vitivinícola. Esta cuestión ha sido abordada por el proyecto europeo «Renewable energy in the wine industry» («LIFE REWIND project», 2017). En este capítulo se presentan algunos de los resultados de ese proyecto.

2. La sostenibilidad en las bodegas españolas

La transformación del sector vitivinícola hacia una mayor sostenibilidad de sus procesos y actividades se ve influida por varios factores. Más allá de los mínimos marcados por el cumplimiento de la normativa medioambiental, resultan condicionantes claros la viabilidad técnica y económica y la percepción de la sostenibilidad que tiene cada empresa y el sector en su conjunto (Pomarici *et al.*, 2015). En ese sentido, una de las acciones llevadas a cabo por el proyecto LIFE REWIND ha sido un estudio para conocer la penetración de las energías renovables dentro del sector vitivinícola español (García-Casarejos, Gargallo y Carroquino, 2018). La metodología de este estudio ha constado de tres etapas:

1. En una primera fase, de carácter exploratorio, se eligieron diez propietarios o gestores de viñedos y bodegas de diferentes regiones españolas, para identificar los aspectos clave y las características del sector analizado. Esto se realizó mediante entrevistas en profundidad, semiestructuradas y dirigidas, como prueba del cuestionario o pre-test.
2. En la segunda etapa se elaboró el cuestionario definitivo, se diseñó la muestra y se seleccionó el tipo de muestreo aleatorio simple, estratificado por comunidad autónoma. Se obtuvieron 92 cuestionarios respondidos. Dicho cuestionario contenía cuatro bloques de preguntas: I-Identificación y localización, II-Actividad de la empresa, III-Política medioambiental de la empresa y IV-Actitud ante el cambio climático.

3. La tercera y última fase ha consistido en el análisis de los datos proporcionados por la encuesta, con el fin de extraer conclusiones.

El análisis estadístico unidimensional ofrece algunos primeros resultados interesantes, por ejemplo:

- Recursos destinados por las bodegas a la gestión medioambiental: en el 33 % de las bodegas no se asigna ningún recurso a estas tareas; en el 46 % se encargan a técnicos generalistas junto con otras funciones asignadas; y solamente en el 7 % se dispone de un técnico o departamento exclusivo de medioambiente.
- Existe un muy bajo nivel de uso de energías renovables.

Las bodegas que componen la muestra están muy centradas en lo que constituye su *core business*, que es la producción y venta de vino. También se observa un alto grado de vinculación entre la propiedad de la bodega y la propiedad de la explotación vitícola.

A continuación, el análisis factorial aborda las variables que muestran, para cada bodega, su grado de acuerdo con que el clima ha cambiado, su disposición a reducir las emisiones de CO₂, su convencimiento del uso de energías renovables, su opinión del gasto que supone su implantación en cuanto a inversión, costes de operación y de mantenimiento; también la importancia que atribuyen a la sostenibilidad ambiental, la fiabilidad, la existencia de subvenciones y el impacto de la imagen en la adopción de energías renovables. Se obtuvieron cuatro factores con dichas variables:

- a) *Factor de costo*: relacionado con la importancia dada a los costos de operación y mantenimiento.
- b) *Factor de convicción*: relacionado con la convicción de usar energía renovable y una imagen de reputación.
- c) *Factor de inversión*: relacionado con la importancia dada a la inversión necesaria.
- d) *Factor de sostenibilidad*: relacionado con la importancia dada a la sostenibilidad y la fiabilidad.

A partir de estos cuatro factores, se ha utilizado la técnica multivariante del análisis clúster para realizar una clasificación de las bodegas en tres grupos bien diferenciados:

- I. *Bodegas que están convencidas de introducir energías renovables (20 % de la muestra).* Su interés en la sostenibilidad es el principal impulsor, por encima de factores como la obtención de una imagen de empresa limpia. Estas bodegas ya están dispuestas a incorporar energía renovable.
- II. *Bodegas que no confían en las energías renovables (40 % de la muestra).* No creen que las energías renovables estén lo suficientemente desarrolladas para ser un suministro confiable. Esta actitud puede estar relacionada con la novedad de las tecnologías de energías renovables. En el caso de España, los obstáculos administrativos y la falta de promoción pública en los últimos años también pueden haber jugado en contra.
- III. *Bodegas que no están convencidas de introducir energías renovables (40 % de la muestra).* Ni los puntos ambientales ni de reputación son suficientes para motivarlos. Parecen estar completamente absorbidas por el núcleo de su negocio, sin tiempo para preocuparse por la sostenibilidad y sin saber la gran participación de la energía en la huella de carbono de su actividad.

Los resultados obtenidos pueden indicar algunas formas de fomentar la transición a las energías renovables en el sector del vino.

Primero, la cantidad de empresas que ya están dispuestas a incorporar energía renovable es suficiente para iniciar esta transición en el sector. Sin embargo, ese mercado aún no se ha activado en cantidad significativa. Es importante tener en cuenta que las empresas del sector del vino no conocen las tecnologías energéticas. Por ejemplo, la creencia de muchas empresas de que los costos de operación y mantenimiento de las energías renovables son altos es completamente errónea. El aumento de la información probablemente aumentaría la demanda de instalaciones renovables. Sin embargo, incluso para el grupo más dispuesto, la inversión requerida representa una desventaja en comparación con las opciones de energía tradicionales. Por este motivo, una excelente medida sería facilitar el acceso a la financiación.

En segundo lugar, un gran grupo de empresas cree que aún no es hora de cambiar a energía renovable. Esta percepción no es correcta, ya que las tec-

nologías de energía renovable han alcanzado un grado suficiente de madurez. Por lo tanto, el aumento de la información disponible nuevamente sería una medida adecuada.

Por último, un gran grupo de bodegas no está interesado en las energías renovables. Esto no es extraño, dada la novedad de esta tecnología y su distancia del núcleo de las actividades de las bodegas. Es razonable esperar que la futura introducción de renovables en el sector, liderada por las bodegas del primer grupo, modifique las percepciones de las de este tercer grupo. Además, la política ambiental y energética europea, así como la evolución del mercado, terminarán impulsando la transición incluso en ausencia de otras convicciones.

En resumen, puede afirmarse que, a pesar de que tanto en bodegas como en viñedos la transición a las energías renovables todavía no se ha producido, ya existen las condiciones para ello. La principal fuente de energía en el sector vitivinícola sigue siendo la eléctrica, cuyos costes cada vez son mayores, con el gasóleo en segundo lugar. No es el coste, sino la financiación, el principal freno. Este proceso de implantación se vería acelerado si las empresas tuvieran mejor conocimiento tanto de sus costes energéticos como de las soluciones tecnológicas disponibles.

3. La energía en el sector vitivinícola

La energía en el sector del vino se utiliza de múltiples formas, tanto dentro como fuera de las explotaciones vitivinícolas. Entre estas últimas están el transporte, la distribución y la red comercial; también se emplea energía en la producción de envases de vidrio y otros insumos o factores del proceso. Existen múltiples enfoques y trabajos sobre eficiencia y sostenibilidad en las actividades externas, por su naturaleza general, no siendo exclusivas del sector. En este texto, por el contrario, se analiza el consumo en las actividades específicas del sector, desarrolladas en la propia empresa.

Dos son los entornos en que se realizan las actividades: bodega y viñedo. Adicionalmente, por tratarse de usos no estacionarios, la movilidad y la maquinaria agrícola son objeto de un análisis diferenciado, considerándolo el tercer caso. En las actividades citadas, la energía se utiliza para mover motores de tipo estacionario (bombeos, etc.), para motores en movilidad (maquinaria y transporte interno), para usos térmicos (frío, calor y climatización) e incluso para iluminación y ofimática. Las principales formas de energía utilizadas son la electricidad y los combustibles fósiles (mayoritariamente gasóleo).

En el primer caso, la electricidad procedente de la red eléctrica en España tiene una considerable tasa de emisiones, de 0,25 kg CO₂/kWh, además de 0,51 mg/kWh de residuos radioactivos asociados, debido a su mix de generación según la CNMC (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia). En cuanto al gasóleo, sus emisiones por litro en maquinaria agrícola pueden cifrarse en 2.686 kg CO₂ según el Programa Europeo de Monitorización y Evaluación de la Agencia Europea del Medioambiente, además de otras cantidades de SO₂, NOx y partículas. En consecuencia, puede obtenerse una reducción de emisiones, bien sea por la reducción del uso de energía o bien por su sustitución por la producida desde fuentes renovables.

Las explotaciones vitivinícolas suelen estar ubicadas en un entorno seminatural. En el caso de los combustibles fósiles, las emisiones de CO₂ y otros contaminantes se manifiestan en la propia explotación, donde se produce la combustión en motores o calderas, con un impacto directo en el medio circundante. En el caso de la electricidad procedente de la red general de suministro, los generadores no suelen estar en las proximidades. Aun así, persiste su efecto nocivo y su contribución al indeseable cambio climático, por lo que las emisiones siguen teniendo que contabilizarse como asociadas al producto (el vino). Aún más, aunque las emisiones se produzcan de forma remota, existen impactos paisajísticos en la propia explotación y en el entorno, como consecuencia del tendido de líneas eléctricas. Esto puede perjudicar, entre otras cosas, a las actividades turísticas, más aún si son desarrolladas en la propia explotación (enoturismo). Este efecto no está relacionado con el *mix* energético, ya que incluso si la red eléctrica suministrase únicamente electricidad de origen renovable, el impacto paisajístico sería el mismo. Si se desea evitar el tendido de líneas eléctricas, que resultan además costosas y generan molestas servidumbres, la electricidad puede generarse *in situ* desde fuentes renovables, dado que la tecnología necesaria para ello ya existe, evitando con ello la necesidad de su transporte y distribución.

4. Recursos renovables

4.1. Solar

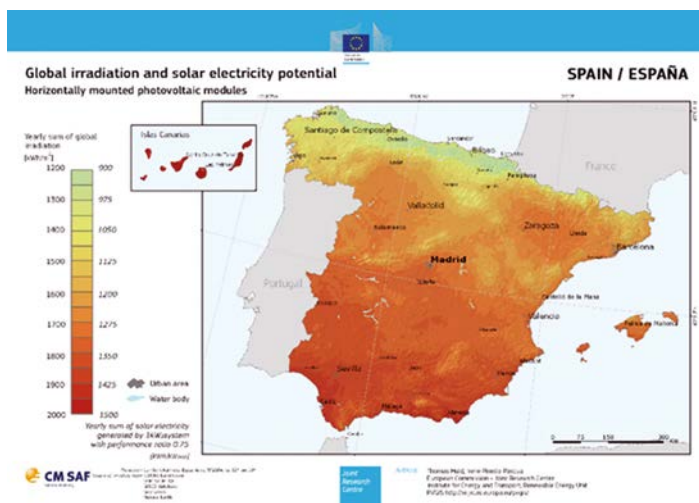
El recurso solar puede aprovecharse para producir electricidad, mediante paneles fotovoltaicos, o para producir calor, mediante paneles termosolares. Esta segunda aplicación puede ser útil en las bodegas, principalmente para

la producción de agua caliente sanitaria, del mismo modo que ya se utiliza ampliamente en viviendas. Sin embargo, la versatilidad de la electricidad para mover motores, producir o transportar calor (o frío), proporcionar iluminación o alimentar sistemas electrónicos hace que la generación fotovoltaica tenga muchas más aplicaciones. Además, de entre los diversos recursos renovables existentes para sustituir la electricidad, el que puede utilizarse de forma más sencilla y que está disponible de forma ubicua es la energía solar, lo que facilita su utilización para las actividades vitivinícolas (Smyth y Russell, 2009). La Figura 1 muestra la distribución del recurso solar en España, que depende principalmente de la latitud geográfica, y que es bien conocido y de magnitud considerable en todo el país.

La tecnología fotovoltaica, inicialmente muy costosa, ha sufrido en las últimas décadas un espectacular abaratamiento. Lejos quedaron los tiempos en que solamente se planteaba su instalación ante la existencia de fuertes subvenciones. Respecto a sus características técnicas, la generación fotovoltaica es escalable, pudiendo construirse desde unos pocos vatios hasta varios megavatios de potencia, lo que permite utilizarla para consumos de cualquier magnitud.

Una característica fundamental para el aprovechamiento fotovoltaico es que el perfil anual de la producción varía según la orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos. En ubicaciones del hemisferio norte, la orientación sur es en principio la más favorable. En cuanto a la inclinación, debido a la mayor elevación de la trayectoria solar en verano, menores inclinaciones aumentan la producción en verano y la reducen en invierno. Por el contrario, mayores ángulos de inclinación favorecen la producción en invierno. En el norte de España, esto se traduce en que la inclinación óptima varía desde 8° en el mes de junio hasta 67° en el mes de diciembre. Si se busca el ángulo que representa el mejor compromiso de producción en régimen anual, resulta ser el de 39°. Estas características tienen que ser tenidas en cuenta a la hora del diseño de la instalación fotovoltaica, para que el perfil anual de su producción se adapte en la medida de lo posible al de la demanda que se haya de satisfacer.

Figura 1. Mapa de distribución del recurso solar en España

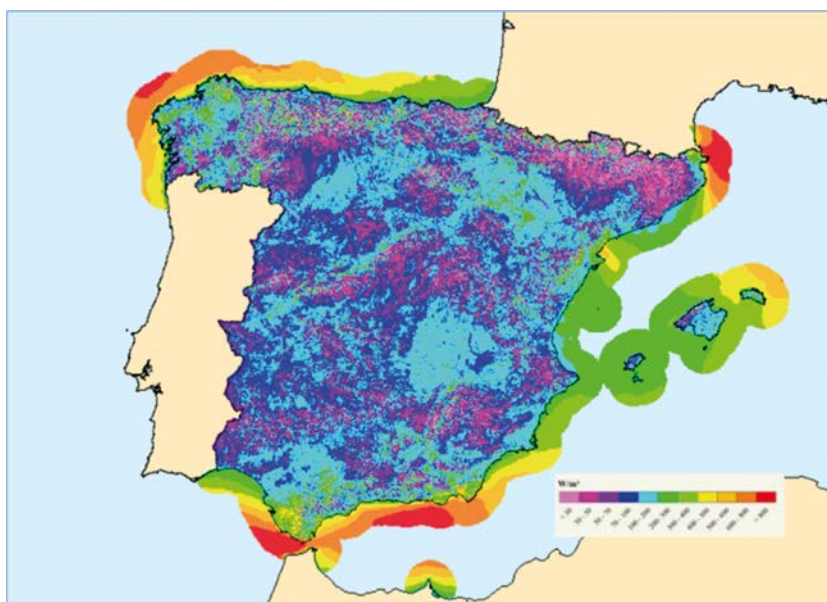


Fuente: PVGIS.

4.2. Eólico

La Figura 2 muestra la distribución del recurso eólico en España. A diferencia del recurso solar, el eólico varía ampliamente según múltiples factores como la altitud, la orografía y la configuración del terreno, entre otros, pudiendo haber considerables diferencias entre dos ubicaciones próximas. La forma fiable de conocerlo es llevando a cabo una campaña de medición mediante sensores durante varios años. Esto se hace siempre antes de instalar un parque eólico, pero requiere una cantidad de tiempo y dinero que lo desaconseja para usos de pequeña potencia. Otra dificultad adicional para el uso del recurso eólico es que suelen presentarse períodos de calma del viento que pueden prolongarse varios días o semanas, durante los cuales la producción de energía es nula.

Figura 2. Mapa de distribución del recurso eólico en España



Fuente: IDAE.

En todo caso, el aprovechamiento moderno del recurso eólico pasa por la producción de electricidad. Dado que la velocidad del viento es mínima en la superficie terrestre, y se incrementa con la altura, los aerogeneradores suelen construirse de gran tamaño y cada vez de mayor potencia, de un megavatio en adelante. En las aplicaciones que requieren potencias menores, como sería el caso de las explotaciones vitivinícolas, los aerogeneradores a utilizar serían del margen de la minieólica. Esto significa no solo menor altura, sino también menor rendimiento y, por lo tanto, mayor coste de la energía. Como consecuencia de todo ello, en las ubicaciones de viñedos lo más frecuente es que el recurso eólico sea poco adecuado para su aprovechamiento, mientras que el recurso solar sí lo es (Carroquino *et al.*, 2013).

4.3. Biomasa

En las explotaciones vitivinícolas se plantea la posible utilización energética de algunos subproductos o residuos del proceso, principalmente los restos de poda de la vid. Aunque entran de lleno en la categoría de biomasa, su apro-

vechamiento energético de manera sistemática requeriría un tratamiento previo, entre otras cosas para reducir su contenido en agua. Su procesado y uso en la propia explotación difícilmente compensaría los costes. Como en otros tipos de biomasa, su aprovechamiento eficiente pasaría por un procesamiento centralizado, en instalaciones específicas, dando como resultado un producto energético normalizado y aprovechando las economías de escala. A diferencia del uso directo de la biomasa sin procesar, la utilización de pélets normalizados en calderas para producir calor es perfectamente viable, permitiendo su automatización y con una producción de cenizas y un mantenimiento moderado. Así, los pélets pueden jugar un discreto papel en las instalaciones bodegueras, para la producción de calor para calefacción o agua caliente sanitaria.

4.4. Biocombustibles

Mención especial entre la biomasa merecen los biocombustibles, que pueden utilizarse en motores de combustión interna, estacionarios –como los grupos generadores– o en movilidad –como los vehículos o la maquinaria agrícola–. De hecho, se han barajado como la posible vía hacia la sostenibilidad en dichos usos. Sin embargo, a medida que la técnica avanza y se conocen sus efectos, no parece que vaya a ser así. Los biocombustibles pueden proceder de la transformación de cultivos energéticos, de residuos orgánicos o, incluso, de otros orígenes específicamente desarrollados, como algas o plantas genéticamente modificadas.

Los cultivos intensivos con fines energéticos para producción de biocombustibles, como por ejemplo la palma, presentan múltiples efectos indeseables, entre los que están el encarecimiento de los alimentos, ya que compiten con los cultivos alimentarios por el uso de tierra, agua y recursos, y reducen la biodiversidad, por lo que no se consideran sostenibles. La utilización de residuos orgánicos para producir biocombustibles no resulta económicamente rentable, aunque puede usarse para dar utilidad y salida a dichos residuos. Por último, las técnicas de producción de biocombustibles de tercera y cuarta generación distan aún mucho de obtener resultados viables a gran escala. En resumen, no parece que los biocombustibles vayan a jugar en el futuro, incluido el del sector vitivinícola, un mayor papel del que ahora juegan, que es su presencia en un pequeño porcentaje en los combustibles que se utilizan. Su futuro puede estar en la navegación marítima y aérea.

4.5. Geotermia

Existen diversas aplicaciones de la geotermia, en función de la profundidad y, relacionada con ella, de la temperatura que se alcance. En aplicaciones a escala del sector vitivinícola, además de la posible construcción bioclimática de las bodegas, puede recurrirse a utilizar el subsuelo como foco de intercambio térmico para una bomba de calor. Al igual que en un frigorífico o un aparato de aire acondicionado, se utiliza energía eléctrica, no para producir calor, sino para moverlo entre dos focos, enfriando uno y calentando el otro, aun en el caso de que la temperatura del primero fuese menor que la del segundo.

Esta aplicación de la llamada bomba de calor geotérmica en realidad no produce energía, sino que permite utilizarla de una forma mucho más eficiente que si el foco de intercambio fuese, como en las bombas de calor convencionales, el aire exterior. La mayor eficiencia procede de que mientras que el aire se encuentra caliente en verano (cuando se necesita refrigeración) y frío en invierno (cuando se necesita calefacción), el subsuelo permanece todo el año a una temperatura casi constante e intermedia. Así, las bombas de calor geotérmicas pueden utilizarse tanto para producción de frío como de calor, siempre accionadas mediante energía eléctrica.

5. Acciones de mitigación en el viñedo

En el viñedo, dejando aparte los usos en movilidad, esto es, en la maquinaria agrícola y los vehículos, la energía se utiliza de forma estacionaria principalmente para los bombeos de riego, en caso de que existan. En 2017, de las 953.607 ha de viñedo de transformación existentes en España, 368.100 ha lo eran de regadío, es decir, el 39 % (MAGRAMA, 2017). De ellas, el 97 % corresponde a riego localizado. Bien es cierto que hay muchas zonas y muchos viñedos sin riego, pero precisamente se prevé que su implantación aumente, como medida de adaptación al cambio climático. Este es uno de los casos en que nos encontramos con la aparente paradoja de que, mientras que para la adaptación es necesario utilizar energía, para la mitigación conviene reducir las emisiones debidas al consumo de energía. Como ya se ha dicho, la solución a la paradoja pasa por utilizar energía producida desde recursos renovables.

Los bombeos de riego pueden requerir una o varias etapas, en función de si el agua se extrae desde acuíferos subterráneos, si requiere elevación, si existe una balsa o no. Cuando el agua procede de un pozo y no existe balsa, una úni-

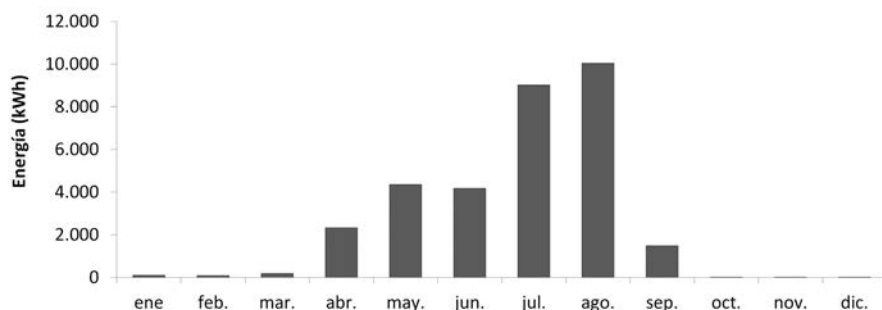
ca bomba sumergida extrae el agua y la envía directamente al sistema de riego por goteo. En este caso, el consumo de energía es completamente simultáneo al riego. Cuando el agua se extrae desde un pozo hasta una balsa con un primer bombeo y se presuriza para riego desde la balsa con un segundo bombeo, la existencia de dos bombas permite una gestión más flexible. La balsa puede llenarse con relativa independencia del riego, en los momentos en que haya energía disponible o cuando esta sea más barata. La balsa cumple una función de acumulación, no solo de agua, sino en cierta forma también de energía.

Las bombas casi siempre son accionadas por motores eléctricos. Una de las opciones habituales para su alimentación es llevar hasta ellas una línea eléctrica. En muchos casos esto puede resultar muy costoso, además de las servidumbres y el impacto paisajístico que conlleva. La segunda opción habitual es la generación de electricidad *in situ*, mediante un grupo generador diésel. Aunque su coste inicial es moderado, el de operación y mantenimiento resulta muy alto. Como alternativa algo menos sucia, pero también emisora de CO₂, en lugar de diésel el generador puede ser de gas. La elección del tipo de suministro energético cobra aún más importancia en el caso de que la adaptación al cambio climático requiera ubicar el viñedo a mayor altitud, ya que probablemente se trate de parajes más sensibles y alejados de la red eléctrica.

La solución medioambientalmente óptima para obtener electricidad en el viñedo desde fuentes renovables es la generación solar fotovoltaica *in situ*. Una de las dificultades para su uso es que, al ser la producción de energía variable en función de la radiación solar y tratarse de sistemas no conectados a la red eléctrica, es necesario acumular la energía cuando se produce para poder utilizarla cuando se necesita. Dado que la acumulación de electricidad es costosa e introduce ciertas pérdidas de rendimiento, conviene diseñar el sistema fotovoltaico minimizando el tamaño de la batería necesaria. A efectos de la acumulación, es preciso tener en cuenta también si el riego va a hacerse durante el día o la noche. El Gráfico 1 muestra el perfil de la demanda de energía en un caso de riego por goteo, con valores máximos en julio y agosto.

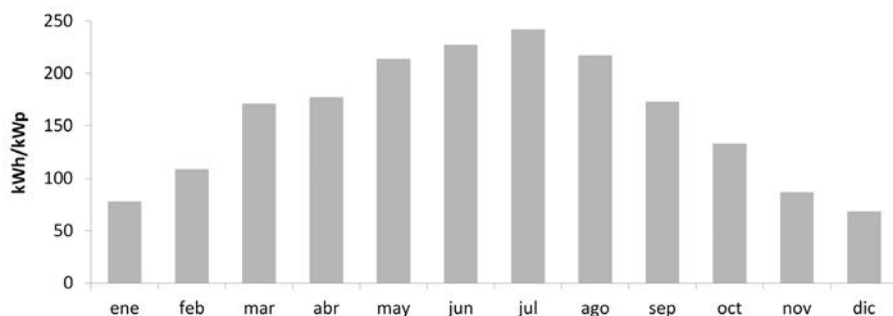
El perfil anual del recurso solar se adapta mejor si los paneles fotovoltaicos se colocan con inclinaciones óptimas para dichos meses (Gráfico 2). Pese a ello, va a existir un excedente de energía durante el resto de meses del año. Dicha energía puede ser utilizada para otras funciones, como carga de vehículos eléctricos. No obstante, aunque no se aprovechase el excedente, el sistema de generación fotovoltaico puede resultar rentable.

Gráfico 1. Consumo de electricidad de uno de los riegos de viñedo estudiados durante un año. En kWh



Fuente: elaboración propia.

Gráfico 2. Producción fotovoltaica relativa con paneles a 12°, durante un año



Fuente: elaboración propia.

Así, en general, para garantizar el suministro ante las variaciones del recurso solar y de la demanda de energía, un generador fotovoltaico requiere de cierto sobredimensionado. Una forma de reducir drásticamente la necesidad de sobredimensionar el sistema consiste en hibridar la fotovoltaica con un generador diésel. Esto, que en principio puede parecer un paso atrás en cuanto a sostenibilidad, resulta ser en muchos casos la solución óptima no solo desde el punto de vista económico sino también de reducción de emisiones. Un generador híbrido bien dimensionado suministra entre un 80 % y un 95 % de

la energía de origen fotovoltaico y entre un 5 % y un 20 % de origen diésel. El generador diésel se acciona automáticamente cuando la energía disponible de origen renovable no es suficiente para cubrir la demanda. A cambio de introducir esa fracción diésel, el tamaño del campo fotovoltaico y de la batería puede ser mucho menor. Consecuentemente, se reduce el coste del sistema.

En cuanto a las emisiones producidas por el consumo de gasóleo, se compensan sobradamente con la reducción de las asociadas al ciclo de vida del sistema generador en su conjunto (fabricación, transporte, montaje, desguace, reciclado, etc.) debido a su menor tamaño. En general, el dimensionado óptimo de un sistema de generación renovable no conectado a la red es un problema complejo, que no está al alcance de cualquier instalador (Carroquino *et al.*, 2015). No obstante, partiendo de un conocimiento exhaustivo de las necesidades de cada caso y utilizando procesos avanzados de diseño, se obtienen sistemas con excelente rendimiento, tanto técnico como económico. Así, no solo los nuevos regadíos pueden alimentarse desde su implantación con generación renovable, sino que cualquiera de los que actualmente utilizan generación diésel puede transformarse de forma rentable y eficaz.

6. Acciones de mitigación en la bodega

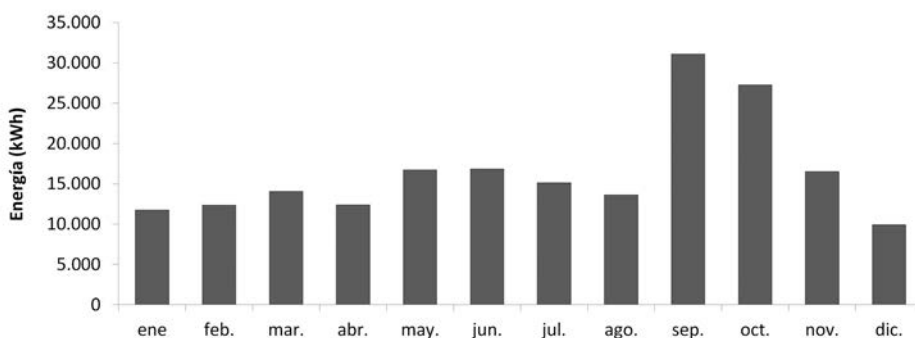
La mayor parte de las bodegas obtienen la electricidad de la red eléctrica, bien porque están ubicadas en un núcleo urbano, bien porque durante su construcción se llevó una línea eléctrica hasta allí. Esto no es obstáculo para que, aprovechando los avances en la generación renovable aislada, las nuevas bodegas que se construyan en zonas alejadas de la red puedan optar por alimentarse de electricidad generada *in situ*, de forma semejante a la indicada para los riegos.

En el caso general de una bodega conectada a la red eléctrica, la forma de reducir las emisiones asociadas al consumo eléctrico pasa porque se suministre desde fuentes renovables. Un primer paso es la contratación del suministro con una comercializadora que garantice el origen renovable de la energía. Sin embargo, esto es una solución virtual, ya que no por ello cambia el *mix* de generación de la red, siendo únicamente una señal que el consumidor envía al mercado eléctrico, máxime en España, cuyo gobierno ha protegido de forma técnicamente injustificada la participación en el *mix* eléctrico de recursos fósiles como el carbón y el gas, además de la generación nuclear. Así, si lo que

se desea es una reducción real de las emisiones asociadas a las actividades de la bodega y a sus productos, la solución pasa por el autoconsumo eléctrico.

Antes de abordar el suministro de energía, es muy conveniente reducir la demanda aplicando medidas de eficiencia energética, tanto en las instalaciones de nueva planta como en las ya existentes. En el caso de las bodegas, existe un gran margen para reducir la demanda térmica mediante técnicas de arquitectura bioclimática, aislamientos térmicos, etc. En la bodega participante en el proyecto LIFE REWIND, las medidas de eficiencia permitieron reducir el consumo anual de electricidad un 25 %, desde 2.000.000 kWh a 1.500.000 kWh. En cuanto al perfil anual de la demanda, las bodegas estudiadas mostraron una estacionalidad del consumo, con máximos en el período de vendimia e inmediatamente posterior. Fuente: elaboración propia. El Gráfico 3 muestra el consumo eléctrico de una de las bodegas estudiadas, a lo largo de un año.

Gráfico 3. Consumo de electricidad de una de las bodegas estudiadas durante un año

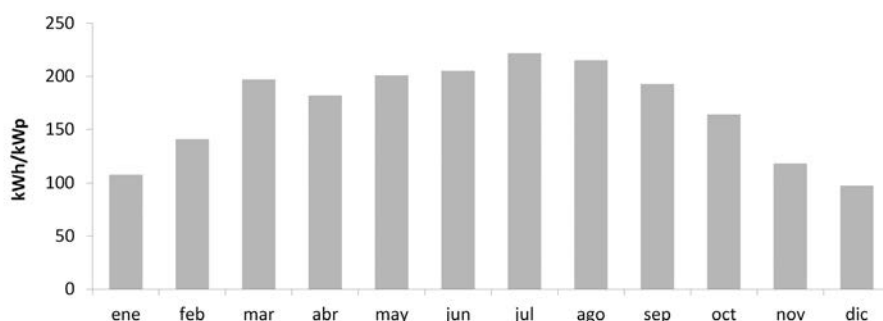


Fuente: elaboración propia.

En la bodega, a diferencia del riego, la demanda es más estable a lo largo del año. Esto se debe a la superposición de procesos de climatización en invierno y verano, iluminación y ofimática todo el año, entre otros. Los máximos se encuentran en los meses de septiembre y octubre, debido a la estacionalidad de los procesos de vendimia y refrigeración posterior. En este caso, el perfil anual del recurso solar se adapta mejor si los paneles fotovoltaicos se colocan con inclinaciones óptimas para el conjunto del año (Gráfico 4). En este caso, dado que las bodegas suelen estar conectadas a la red eléctrica, no va a existir

un excedente de energía. El generador fotovoltaico puede dimensionarse en régimen de autoconsumo para suministrar una fracción de la electricidad necesaria, tomándose de la red la que falte. Incluso si se generase más energía de la necesaria, podría verterse a la red. Así, el sistema de generación fotovoltaico puede resultar rentable.

Gráfico 4. Producción relativa con paneles a 39° durante un año



Fuente: elaboración propia.

7. Ubicación de generación fotovoltaica *in situ*

En el viñedo, de entre las diferentes formas de instalar paneles fotovoltaicos, la más habitual es sobre el suelo, mediante estructuras metálicas. Se pueden fijar al terreno mediante contrapesos de hormigón prefabricado (Figura 3), lo que evita el impacto de otros tipos de fijación, y puede desmantelarse sin dejar residuos al final de su vida útil. Si se considera necesario, puede dotarse al conjunto de dos o más posibles inclinaciones ajustables manualmente, pudiendo así adaptarlo una o dos veces a lo largo del año.

Recientemente se ha desarrollado otra interesante opción para aquellos viñedos o bodegas donde exista una balsa de agua. Se trata de soportes flotantes que permiten ubicar los paneles sobre la superficie del agua. De esta forma, se obtienen tres efectos positivos. Por una parte, se evita la roturación, preparación y vallado de terreno. Por otra, el efecto térmico del agua puede reducir la temperatura de funcionamiento de los paneles, lo que aumenta su eficiencia eléctrica. Por último, se reduce la pérdida de agua de la balsa, al re-

ducir su insolación y su superficie al aire. La Figura 4 muestra una instalación de este tipo.

Figura 3. Campo fotovoltaico sobre estructura metálica en suelo



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Campo fotovoltaico sobre estructura flotante en balsa



Fuente: elaboración propia.

En las bodegas, posiblemente se disponga de superficies arquitectónicas adecuadas para la instalación de los paneles, como tejados, terrazas, fachadas o incluso cubiertas de aparcamientos.

8. Movilidad y maquinaria agrícola

En los viñedos, el uso de maquinaria agrícola y de los vehículos de transporte y de personal, aún con una intensidad moderada, constituyen el principal consumo energético. Actualmente, casi la totalidad de esa energía procede del gasóleo. Para conocer el posible futuro de la movilidad y la maquinaria agrícola basta con establecer una comparación cualitativa entre motores para movilidad, de combustión interna (Tabla 1) entre los motores habitualmente utilizados, de combustión interna, y los motores eléctricos. Se puede dar por supuesto que el futuro de la movilidad es eléctrico.

Tabla 1. Comparación cualitativa entre motores para movilidad, de combustión y eléctricos

Característica	Motor de combustión interna	Motor eléctrico
Emisiones de CO ₂	Sí	No*
Otros contaminantes	Sí	No*
Ruido	Elevado	Mínimo
Rendimiento	15-30 %	85-95 %
Recuperación de energía	No	En frenado y desaceleración
Necesita caja de cambios	En vehículos y maquinaria	No
Necesidad de mantenimiento	Elevado	Mínimo

* Si el motor eléctrico se alimenta de electricidad de origen renovable.

Fuente: elaboración propia.

El almacenamiento de energía en movilidad es actualmente el factor limitante. La densidad energética de las baterías es todavía inferior a la de los combustibles como el gasóleo o la gasolina. Los recientes avances hacen que esto ya esté dejando de ser un problema para los vehículos de turismo, aunque todavía lo sigue siendo para la maquinaria agrícola pesada. Es de esperar que la tecnología de acumulación eléctrica evolucione y deje atrás esta limitación. Otra solución es la utilización del hidrógeno como vector energético. El hidrógeno no se encuentra libre en la naturaleza, pero puede producirse, entre

otras formas, mediante la electrolisis del agua, separándola en sus componentes, hidrógeno y oxígeno. Este proceso es completamente limpio, si se utiliza para ello electricidad de origen renovable. El hidrógeno puede almacenarse, para su posterior repostaje, en depósitos a muy alta presión a bordo de los vehículos o la maquinaria, con una densidad energética superior a la de las baterías eléctricas. Posteriormente, el proceso se revierte en una pila de combustible, donde se combina el hidrógeno con el oxígeno y se recupera buena parte de la energía empleada en su producción. Nuevamente se trata de un proceso completamente limpio, cuyo único subproducto es agua de alta pureza. La electricidad producida se utiliza para los motores eléctricos y, en su caso, para recargar las baterías, consiguiéndose una autonomía cercana a la de un vehículo convencional.

Es de esperar que la maquinaria agrícola sufrirá una transición similar a la que ya están iniciando los vehículos de turismo y de transporte. Probablemente, aunque aquella se produzca un poco después, será relativamente rápida debido al alcance de madurez tecnológica que recibirá de esta. Por el momento, la maquinaria agrícola de potencia no se ha electrificado comercialmente, y la acumulación eléctrica y en hidrógeno debe alcanzar mayores densidades energéticas y reducir sus costes.

La Fuente: elaboración propia. Figura 5 muestra un prototipo alimentado con hidrógeno producido desde electricidad renovable en el propio viñedo. En el momento actual, lo que ya es técnica y económicamente viable es la incorporación de vehículos de personal y de transporte ligero en la explotación, e incluso fuera de ella, con tracción eléctrica y alimentados por electricidad. Si sus baterías se cargan con electricidad de origen renovable, la evitación de emisiones es plena. Como se ha indicado anteriormente, dicha energía puede producirse en la propia explotación e incluso tratarse de la energía excedentaria de una instalación para riego, por ejemplo.

Figura 5. Prototipo de vehículo todo terreno eléctrico alimentado por pila de combustible de hidrógeno



Fuente: elaboración propia.

9. Conclusiones

La adaptación al cambio climático por parte del sector vitivinícola es una necesidad a corto, medio y largo plazo. Además, las especiales condiciones del sector aconsejan y permiten la adopción de medidas de sostenibilidad que también entran en la categoría de mitigación. Una parte considerable de la huella de carbono del producto y de la actividad proceden de la energía necesaria para los procesos en viñedo y bodega. Es de esperar que esa necesidad de energía vaya en aumento, en parte como consecuencia de algunas medidas de adaptación como el incremento del riego y de la refrigeración.

Esta influencia de la energía en la sostenibilidad del sector es muchas veces olvidada, por tratarse de un insumo que se produce fuera de la explotación y cuya tecnología es ajena al proceso, bien se trate de electricidad de la red o de gasóleo para generadores diésel, movilidad o maquinaria agrícola. Sin embargo, la sustitución de esa energía por la producida desde fuentes re-

novables ofrece una excelente oportunidad de reducir las emisiones de CO₂, sin necesidad de intervenir ni modificar los procesos de viñedo y bodega. La generación fotovoltaica ha alcanzado ya una madurez que permite la producción de energía en la misma ubicación donde se necesita, de forma fiable y rentable. Adicionalmente, evita el tendido de líneas eléctricas, con su impacto paisajístico y sus servidumbres.

Las bodegas españolas son plenamente conscientes de la existencia del cambio climático y de la influencia que ya empieza a tener sobre sus actividades y productos. Sin embargo, esta buena disposición no se ha traducido hasta el momento en la toma de acciones decididamente encaminadas a hacer frente al problema. Las razones para ello son diversas.

Por una parte, las bodegas no suelen disponer de información clara sobre las medidas aplicables y sus costes. Especialmente en el caso de la energía, al tratarse de tecnologías ajenas al sector, se necesita asesoramiento externo cualificado, tanto desde el punto de vista técnico como económico. En este sentido, el papel de la Administración en España durante algunos años ha sido perjudicial, debido a una actitud cuando menos indiferente y, a menudo, obstruccionista hacia el fomento de la energía renovable.

Las subvenciones para modernización de explotaciones podrían incluir criterios de sostenibilidad energética pero, por el contrario, a menudo se subvencionan extensiones de la red eléctrica o la instalación de generadores de gas, uno más de los combustibles fósiles y fuente de CO₂. La subvención de las extensiones de la red eléctrica es especialmente impropia, dado que dichas infraestructuras pasan inmediatamente a propiedad de las empresas distribuidoras de electricidad. Afortunadamente, la normativa reguladora del autoconsumo conectado a la red eléctrica está siendo liberalizada y simplificada.

Por otra parte, si se realiza una comparativa de costes entre las diferentes opciones de suministro energético, como por ejemplo mediante el cálculo del VAN (valor actualizado neto), frecuentemente resulta ventajosa la instalación de generación renovable. De hecho, sus costes se han reducido lo suficiente para que ya no sean necesarias primas ni subvenciones. Sin embargo, el coste económico se concentra en el momento de su implantación, siendo por lo tanto una inversión que requiere financiación.

Como resumen final, puede afirmarse que una parte considerable de las bodegas están dispuestas a incorporar energías renovables y que ese proceso podría promoverse de forma sencilla por los actores institucionales. La Admi-

nistración debería facilitar los trámites técnicos y administrativos, y las organizaciones sectoriales podrían proveer asesoramiento e información a las empresas vitivinícolas. Ante esa nueva situación, bien sea mediante un cambio en la política de subvenciones orientada a la sostenibilidad, bien sea mediante la financiación en condiciones de mercado, el sector vitivinícola español podría combatir el cambio climático, incrementar su sostenibilidad e incluso reducir sus costes energéticos.

Agradecimientos

Al proyecto LIFE REWIND, cofinanciado por la Comisión Europea, y a todos los profesionales del sector vitivinícola que han aceptado colaborar con él.

Referencias bibliográficas

- CARROQUINO, J.; DUFO-LÓPEZ, R. y BERNAL-AGUSTÍN, J. L. (2013): «Introducing Off-Grid Renewable Energy Systems for Irrigation in Mediterranean Crops»; *Applied Mechanics and Materials* (330); pp. 198-202; en <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.330.198>.
- CARROQUINO, J.; DUFO-LÓPEZ, R. y BERNAL-AGUSTÍN, J. L. (2015): «Sizing of off-grid renewable energy systems for drip irrigation in Mediterranean crops»; *Renewable Energy* (76); pp. 566-574; en <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.069>.
- FIVS (2016): *FIVS International Wine Greenhouse Gas Protocol* (0).
- GARCIA-CASAREJOS, N.; GARGALLO, P. y CARROQUINO, J. (2018): «Introduction of Renewable Energy in the Spanish Wine Sector»; *Sustainability*; <https://doi.org/10.3390/su10093157>.
- LIFE REWIND PROJECT. (2017): Recuperado 9 de enero de 2018, a partir de <http://www.liferewind.eu>.
- MAGRAMA (2017): *Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivo 2017* (158); en <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- MOZELL, M. R. y THACH, L. (2014): «The impact of climate change on the global wine industry: Challenges & solutions»; *Wine Economics and Policy* 3(2); pp. 81-89; en <https://doi.org/10.1016/j.wep.2014.08.001>.

- POMARICI, E.; VECCHIO, R. y MARIANI, A. (2015): «Wineries' perception of sustainability costs and benefits: An exploratory study in California»; *Sustainability (Switzerland)* 7(12); pp. 16164-16174; en <https://doi.org/10.3390/su71215806>.
- SELLERS-RUBIO, R. y NICOLAU-GONZALBEZ, J. L. (2016): «Estimating the willingness to pay for a sustainable wine using a Heckit model»; *Wine Economics and Policy* 5(2); pp. 96-104; en <https://doi.org/10.1016/j.wep.2016.09.002>.
- SMYTH, M. y RUSSELL, J. (2009): «'From graft to bottle'-Analysis of energy use in viticulture and wine production and the potential for solar renewable technologies»; *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13(8); pp. 1985-1993; en <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2009.01.007>.

Herramientas de gestión medioambiental para las bodegas

El certificado WfCP y el proyecto/iniciativa *PEF Wine*

Estibaliz Torrealba
Pernod Ricard Bodegas

Resumen/*Abstract*

El sector vitivinícola es uno de los más sensibilizados y comprometidos con la lucha contra el cambio climático y la adopción de medidas de mitigación, adaptación y sostenibilidad. Para afrontar este reto, la industria española participa en dos grandes proyectos. En primer lugar, a través de la FEV (Federación Española del Vino), ha desarrollado la certificación voluntaria WfCP, que es la primera y única certificación específica para el sector del vino en materia de sostenibilidad medioambiental, y que identifica a aquellas bodegas que cumplen una serie de estándares y buenas prácticas ambientales. En segundo lugar, colabora en el proyecto comunitario PEFCR *Wine* UE, cuyo objetivo es el de establecer una metodología de cálculo estándar de la huella ecológica de la cadena de producción de la uva y el vino. Este proyecto público muestra la complejidad de estimar adecuadamente los efectos ambientales de los procesos de producción y la necesidad de contar con los productores.

.....

The viticultural sector believe it's necessary to take action against climate change and its effects on the vineyards, which are highly sensitive to temperature changes, as well as the possibility for a change in the quality and identity of wine. To meet this challenge, Spanish industry participates in two major projects. In the first place, Wineries for Climate Protection (WfCP), promoted by the Spanish Wine Federation (FEV), is the first and only specific certification of environmental sustainability for the wine sector that identifies the wineries which demonstrate the hard work protecting the environment and sustainable development. Secondly, it collaborates in the EU-backed project «Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR)», aimed to define a methodology to calculate and commu-

nicate the life cycle environmental performance of wines. This public project shows the complexity of estimating in a proper way the environmental effects of production processes and the need to take into account the producers.

1. Introducción

El sector del vino, como todos los sectores agroalimentarios, es responsable y víctima del cambio climático. Todas las actividades implicadas en la elaboración del vino llevan asociadas unas emisiones que contribuyen al cambio climático y, en ocasiones, a la alteración del microclima de los viñedos. Estas emisiones son de diferentes características y magnitudes según el tipo de técnicas empleadas en el proceso productivo. Sin embargo, la especial sensibilidad de la calidad del vino a este fenómeno hace que la industria se muestre especialmente concienciada hacia este grave problema ambiental. De todas las intervenciones en este ámbito, las más genuinas son las de mitigación, ya que se trata de la intervención humana por excelencia encaminada a ir al foco del problema, es decir, a reducir las emisiones y sus fuentes o a potenciar los sumideros de gases de efecto invernadero.

Desde el punto de vista de la producción de la uva, existen técnicas de cultivo que mitigan las emisiones, además del papel de la propia viña como sumidero de CO₂. Según el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (2018) «se conoce como sumidero todo sistema o proceso por el que se extrae de la atmósfera un gas o gases y se almacenan». Todas las formaciones vegetales, incluida evidentemente la vid, son consideradas sumideros por el proceso de fotosíntesis que llevan a cabo; mediante el que absorben CO₂ (MAPAMA, 2018).

Algunas técnicas agrarias usadas en viticultura tienen un potencial mitigador, además de reducir otras formas de contaminación; por ejemplo, la utilización de restos de poda –aunque esta medida aumenta por otro lado el gasto energético– y orujos, el uso de cubiertas vegetales, la reducción del laboreo y la optimización del uso de fertilizantes. En lo que se refiere a la elaboración del vino, hay margen para reducir las emisiones de CO₂ en casi todos los procesos relacionados con el uso de energía, almacenaje, embotellado y transporte. Este capítulo analiza dos de los proyectos más interesantes en los que está involucrada la industria vitivinícola española con el objetivo de reducir el impacto medioambiental del vino y hacer la industria más sostenible.

2. Origen del Certificado CfWP

El proyecto *Wineries*, como se le conoce informalmente, nació en Barcelona el 10 de junio del 2011. Su origen tuvo lugar en la Jornada «Wineries for Climate Protection», que congregó a numerosas bodegas y expertos de carácter nacional e internacional bajo una premisa: «el viñedo es la clave para un buen vino. La viña es un cultivo extremadamente sensible a los cambios climáticos. En consecuencia, las condiciones de vida de las zonas vinícolas y la calidad de los vinos pueden verse afectadas al aumentar las temperaturas en nuestro planeta» (Figura 1).

Se trataba de reconocer algo tan obvio como que el sector vitivinícola debía mostrarse sensible a este cambio y asumir su parte de responsabilidad. Era importante que las regiones vinícolas, viticultores y bodegueros, afrontaran este reto y se posicionaran claramente frente al desafío de cambiar la gestión de la energía y otros recursos. En principio se trataba, fundamentalmente, de reducir el consumo y aplicar, de forma racional y progresiva, las energías renovables.

Figura 1. Jornada fundacional de *Wineries for Climate Protection* en Barcelona (2011)



Fuente: Federación Española del Vino (FEV).

Este proyecto no debía limitarse a una zona geográfica, sino que reclamaba un esfuerzo global, ya que todas las personas relacionadas con la vid

y el vino, en todo el planeta, deberían tomar conciencia y comprometerse a reducir las emisiones de gas carbónico dentro de su campo de acción.

La declaración de Barcelona pretendía ser el inicio de un movimiento de cooperación que tenía como horizonte la protección del clima y del viñedo, y la lucha por la conservación del hábitat, el paisaje, la tradición y la cultura vitivinícola. Y todo ello sin olvidar, a su vez, en la necesidad de promover un desarrollo sostenible del bienestar social que no comprometa los recursos y las condiciones de vida de la humanidad. El proyecto *Wineries* pretendía ser, además, un precedente para la toma de conciencia de otros sectores productivos.

Fruto de esa jornada, más de 300 bodegas y profesionales del sector firmaron la Declaración de Barcelona y se adhirieron el Decálogo WfCP, que ha servido de inspiración y punto de partida para el desarrollo del esquema de certificación actual WfCP. A partir de ese momento se comenzó a trabajar en un certificado de sostenibilidad que sirviera para hacer concreto y medible ese compromiso, y que permitiera plasmar de manera tangible esa adhesión al Decálogo y esa responsabilidad frente al cambio climático a la que tantas bodegas se habían comprometido.

La Federación Española del Vino (FEV) decidió apostar por un esquema de certificación, desarrollado por y para bodegas, como principal elemento diferenciador frente al resto de certificaciones en sostenibilidad ya existentes, teniendo en cuenta las diferentes políticas europeas en vigor y el cumplimiento de los objetivos climáticos y de energía asumidos por la UE para 2020.

Para desarrollar el proyecto, la FEV creó un grupo *ad hoc* formado por técnicos en sostenibilidad y medioambiente de diferentes bodegas, y por un representante de AENOR como entidad de normalización para ayudar en la redacción y estructura del certificado. El grupo realizó un importante trabajo de *benchmarking* internacional con otros estándares similares para preparar el primer borrador.

Este esquema de certificación consta de un cuestionario WfCP y un reglamento WfCP. El primer documento, el cuestionario, evalúa de manera individual 4 ejes de actuación en materia de sostenibilidad:

1. Reducción de emisiones GEI.
2. Energías renovables y eficiencia energética.
3. Gestión del agua.
4. Reducción de residuos.

Mediante un sistema de puntuación, se evalúa el comportamiento de la bodega en cada uno de esos cuatro ejes, necesitando llegar al menos al 50 % de la puntuación en cada uno de ellos para poder obtener inicialmente el certificado.

La metodología del sistema de puntuación se repite en todos los ámbitos: medición, plan de acción y reducción. Sin embargo, una peculiaridad del certificado de WfCP es que está basado en la mejora continua y, por ello, debe demostrarse dicha mejora en el impacto ambiental de cada uno de los ejes para poder renovar el certificado en los años sucesivos, con un objetivo paralelo a las políticas europeas del «triple 20»:

1. Reducción de un 20 % de las emisiones de gases de efecto invernadero.
2. Obtener un 20 % de la energía en fuentes renovables.
3. Aumentar en un 20 % la eficiencia energética.

El segundo documento, el reglamento WfCP, tiene por objeto establecer y describir el proceso de certificación y las exigencias en materia de medioambiente conforme al esquema de certificación, teniendo en cuenta el proceso completo desde la solicitud de incorporación al esquema hasta la concesión, emisión y posterior mantenimiento del mismo.

Tras la redacción del primer borrador se realizaron tres pruebas piloto en tres bodegas de muy diferente tamaño con el fin de validar el esquema para cualquier bodega, fuera cual fuera su dimensión. Y, a su vez, dichas pruebas piloto sirvieron también para realizar las correcciones y ajustes necesarios al cuestionario y reglamento definitivos.

3. Funcionamiento de la certificación WfCP

El certificado WfCP se presentó públicamente en noviembre del 2015, en un acto celebrado en el entonces Ministerio de Agricultura, Pesca, Alimentación y Medio Ambiente presidido por la Ministra Isabel García Tejerina (Figura 2), como «el compromiso de las bodegas con la sostenibilidad y la lucha contra el cambio climático».

La FEV continuó trabajando en el proyecto y elaboró una guía de certificación que explica a las bodegas cuáles son los pasos a seguir para iniciar el proceso. Adicionalmente, publicó la *Guía de Buenas Prácticas*, que recoge

pequeñas o grandes acciones que una bodega puede llevar a cabo con el fin de mejorar su desempeño ambiental en cualquiera de los cuatro ejes, entendiéndose esta guía como otro de los elementos diferenciadores y de valor añadido con respecto a cualquier otra certificación ambiental existente.

Figura 2. Acto de presentación WfCP



Fuente: Federación Española del Vino (FEV).

Son varias las ventajas de la certificación WfCP. En primer lugar aparece la responsabilidad social corporativa. Las compañías bodegueras certificadas muestran un fuerte compromiso con la tierra y su sensibilidad a la nueva realidad provocada por el cambio climático. WfCP les da la oportunidad de transmitir ese compromiso, de manera fiable, al conjunto de la sociedad e integrarlo en su estrategia de RSC, que cada día tiene un papel más importante en el ámbito empresarial. El sector del vino siempre ha sido responsable, pero ahora se puede demostrar.

En segundo lugar, hay ventajas en materia de eficiencia y ahorro. A través de la mejora continua, eje del certificado WfCP, las bodegas incrementan la eficiencia de sus procesos productivos, lo que conlleva ahorros para la empresa a medio y largo plazo. No solo mejoran el planeta sino también su propia empresa.

En tercer lugar, se crea una ventaja competitiva. En unos mercados cada vez más competidos, las empresas necesitan herramientas para diferenciarse y aportar valor añadido. Cada vez son más los distribuidores que basan en criterios de sostenibilidad ambiental la elección de sus proveedores. Por ello, una bodega puede marcar la diferencia con el Certificado WfCP.

Los controles que debe pasar una bodega que quiere obtener el certificado son tres. En primer lugar, una verificación inicial. En segundo lugar, una verificación de seguimiento, que es voluntaria si la bodega dispone de un certificado ISO 14001 o EMAS, cuyo resultado no tiene efecto en el mantenimiento del certificado en el año 1. En tercer lugar, la verificación de renovación, donde si cumple con los criterios se renueva el certificado y, si no, se pierde.

Los precios de los servicios de verificación son establecidos por las certificadoras y, adicionalmente, la FEV cobra una cuota anual:

- Bodegas de menos de 30 empleados:
 - Socias de la FEV: 90 euros
 - No socias: 125 euros.
- Bodegas de más de 30 empleados:
 - Socias de la FEV: 125 euros
 - No socias de la FEV: 175 euros.

Actualmente, las empresas certificadoras son nueve: AENOR, Applus, Bureau Veritas, DNV.GL, EQA, Kiwa, Lloyds Register, SGS y Tuv Nord.

Las primeras bodegas certificadas fueron, en 2016, Campo Viejo, Perelada, La Estacada, Soledad, Viña Mayor, Fontana, González Byass y Raimat. En 2017 se certificaron cuatro más: Segura Viudas, Luzón, Aroa y Familia Torres y, en 2018, hasta el mes de julio, hay que añadir Ramón Bilbao y Vilarnau. Estas bodegas han entendido esta certificación como un elemento diferenciador importante para toda la cadena de suministro. Así lo sigue entendiendo también el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente español, que en abril de 2017 reconoció y premió a las bodegas que habían obtenido esta certificación (Figura 3).

Figura 3. Entrega de certificados en la Asamblea de la FEV en Valladolid (abril, 2017)



Fuente: Federación Española del Vino (FEV).

4. El Proyecto *Product Environmental Footprint Category Rules Wine* (PEFCR)

La proliferación actual de métodos e iniciativas diferentes para evaluar y comunicar el comportamiento ambiental de un producto está generando confusión y desconfianza en el consumidor y en toda la cadena de suministro. Además, esta disparidad puede suponer costes adicionales para las empresas si las autoridades públicas, sus socios comerciales, las iniciativas privadas y los inversores les piden que midan el comportamiento ambiental de un producto o una organización sobre la base de métodos distintos. Tales costes reducen, por ejemplo, las oportunidades del comercio transfronterizo de productos ecológicos.

En la actualidad, los países de la UE disponen de criterios diferentes, y de guías o directrices, para medir el desempeño medioambiental de productos y organizaciones; a modo de ejemplo:

- Francia: método BP X30-323, Bilan Carbone.

- Reino Unido: PAS 2050, el Protocolo WRI GHG.
- Internacionales: ISO 14040-44, ISO 14025, ISO 14064 y GHG Protocol.

Para facilitar la armonización en este ámbito, la UE ha desarrollado la metodología PEF (*Product Enviromental Footprint*) con el objetivo de definir las reglas sectoriales de cálculo y comunicación de la huella ambiental de productos. Con este proyecto, además de definir una metodología armonizada que garantice una aplicación coherente en toda Europa, se pretende facilitar la actividad de las empresas vitivinícolas, que no necesitarán aplicar metodologías diferentes para evaluar la huella medioambiental de su propio vino. Adicionalmente, este proyecto contribuirá a crear confianza para los consumidores de vino y los socios comerciales en la cadena de suministro y a facilitar la implementación del paquete de economía circular de la UE.

En el año 2013, la UE estableció las bases para el cálculo y la comunicación de la huella ambiental y, en el 2014, las reglas para desarrollar la fase piloto, que concluyó en 2016 (Tabla 1).

Tabla 1. Legislación comunitaria sobre el PEF

2013/179/CE: Recomendación de la Comisión sobre el uso de métodos comunes para medir y comunicar el comportamiento ambiental de los productos y las organizaciones a lo largo de su ciclo de vida.

Comisión Europea (2014). Guía de Piloto de Huella Ambiental. Orientación para la implementación de la Huella Ambiental del Producto de la UE (PEF) durante la Fase Piloto de la Huella Ambiental (EF), v. 5.2, 119 de febrero de 2016 (también llamada «Orientación del PEF»). Guía para la implementación: guía técnica detallada y completa sobre cómo llevar a cabo un estudio PEF, también especifica los requisitos para el desarrollo de PEFCRs.

La fase piloto de la huella ambiental tiene tres objetivos principales:

1. Probar el proceso para desarrollar reglas específicas de productos y sectores.
2. Probar diferentes enfoques para la verificación.

3. Probar diferentes vehículos de comunicación para comunicar el desempeño ambiental del ciclo de vida a socios comerciales, consumidores y otras partes interesadas de la compañía.

A pesar de que este apartado está centrado en el PEF *Wine*, hay que señalar que el proyecto PEF analiza 24 categorías diferentes de procesos para definir sus propias reglas de cálculo, o PEFCR (*category rules*) –baterías, pinturas, detergentes domésticos, cerveza, leche, aceite de oliva, etc.– entre las que, evidentemente, se encuentran el vino y el cava.

El trabajo se organiza en diferentes grupos llamados secretarías técnicas, que están formadas por agentes voluntarios para desarrollar las reglas en cada producto o sector, y además, todas ellas están aprobadas por un comité directivo y un consejo técnico común para todos los proyectos piloto.

El PEFCR *Wine* complementa los requisitos generales de la guía del PEF con otros adicionales específicos a las particularidades del ciclo de vida de los productos vitivinícolas, con el fin de establecer las normas para evaluar la huella medioambiental del vino producido o consumido en la UE.

El PEFCR *Wine* cuenta con una secretaría técnica, formada por actores representativos del sector vitivinícola europeo (Tabla 2) y con una empresa certificadora, que es Lavola.

La definición del alcance y el producto representativo del sector fue el primer paso del proyecto. Era necesario buscar un «vino piloto» que fuera lo suficientemente representativo para que las reglas se testaran de la manera más representativa y más cercana a la realidad posible. Para ello se definieron dos vinos representativos «virtuales»: un vino tranquilo y uno espumoso.

El vino espumoso estaba formado en una proporción del 93,5 % por vino convencional y en una del 6,5 % por orgánico. El 100 % del producto en envase de vidrio, con un 80 % de cierre con corcho natural y un 20 % con tapón sintético.

Para el vino tranquilo se eligió, por un lado, un 63,5 % de vino tinto convencional y un 4,4 % de vino tinto orgánico y, por otro, un 29,9 % de vino blanco convencional y un 2,1 % de vino blanco orgánico. Adicionalmente, un 15 % del vino tinto y un 3 % del vino blanco se había envejecido en barricas; un 79 % estaba envasado en botella de vidrio, un 16 % en *bag in box*, un 4 % en PET y un 1 % en envase de cartón y, además, un 67 % llevaba cierre de tapón de corcho, un 17 % de tapón sintético y un 16 % con *pilfer*.

Tabla 2. Integrantes de la Secretaría Técnica del PEFCR *Wine*

Nombre de la organización	Sector	Participantes
Comité Européen des Entreprises Vins (CEEV) (Coordinador)	<i>Wine producers association</i>	Aurora Abad e Ignacio Sánchez
Pernod Ricard Winemakers Spain	<i>Wine producers</i>	Ainhoa Peña
Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne (CIVC) y tres productores de <i>Champagne</i>	<i>Wine producers association and wine producers</i>	Pierre Naviaux
Unione Italiana Vini (UIV)	<i>Wine producers association</i>	Stefano Stefanucci
Soc. Agr. Salcheto	<i>Wine producers</i>	Michele Manelli
The European Container Glass Federation (FEVE)	<i>Container glass manufacturers</i>	Adeline Farrelly
Amcor	<i>Closure producers</i>	Gerald Rebitzer e Isabelle Jenny
Nomacorc	<i>Closure producers</i>	Olav Aagaard
C. E. Liège	<i>Closure producers</i>	Joao Ferreira y Ana Dias
IHOBE – Public agency of environment of the Basque Government	<i>Public agency</i>	José María Fernández Alcalá
Instituto Andaluz de Tecnología (IAT)	R&D	Rafael Rodríguez Acuña y Víctor Luis Vázquez
Institut Français de la Vigne et du Vin (IFV)	R&D	Sophie Penavayre
Lavola	R&D	Cristina Gazulla
Ecole Supérieure d'Agricultures (ESA)–Angers	R&D	Christel Renaud-Gentié

Fuente: elaboración propia.

En lo que se refiere al proceso, se tuvieron en cuenta todas las fases de cultivo de la uva, elaboración del vino, embotellado, distribución, consumo y final de vida del producto (Figura 4).

Para el análisis de ciclo de vida se tienen en cuenta las 15 categorías de impacto que indica la Recomendación de la Comisión:

1. Cambio climático
2. Agotamiento del ozono
3. Ecotoxicidad para el agua dulce
4. Toxicidad para los humanos – efectos cancerígenos
5. Toxicidad para los humanos – efectos no cancerígenos
6. *Particulate Matter/ Respiratory Inorganics*
7. Radiación ionizante – efectos en la salud humana
8. Formación fotoquímica de ozono
9. Acidificación

10. Eutrofización del medio terrestre
11. Eutrofización de las aguas dulces
12. Eutrofización del medio marino
13. Agotamiento del recurso agua
14. Agotamiento de recursos minerales y fósiles
15. Transformación del suelo

Para el vino virtual, las fases del ciclo de vida y los procesos o flujos más relevantes son los siguientes:

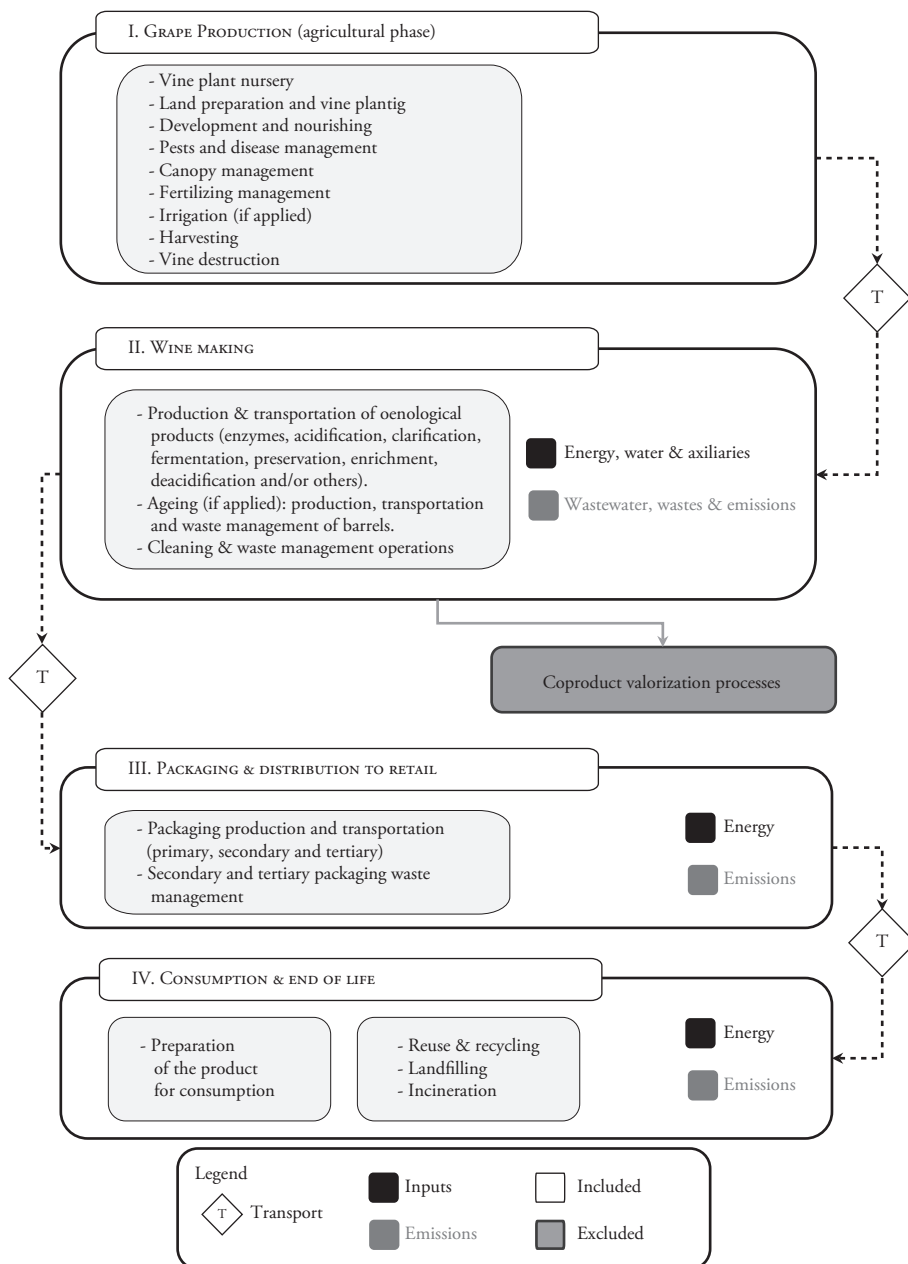
1. Producción de uva: uso de fertilizantes y pesticidas y metales usados en viñedo (para conducción). El impacto de esta fase respecto al total del ciclo de vida del producto es de un 84 %.
2. Embotellado: la botella de vidrio supone un 6 % del total del impacto.
3. Elaboración de vino: consumo de electricidad en bodega durante la elaboración, supone un 5 % del impacto total.

La Guía PEF indica que se deben normalizar y ponderar los resultados para poder comparar las diferentes categorías de impacto entre ellas, e identificar así las categorías más relevantes en el total del análisis. Para normalizar se usan los factores aportados por la UE, y para la ponderación se establece que todas las categorías tienen la misma importancia.

Una vez realizado este ejercicio, aparecen como categorías de impacto más relevantes las siguientes:

1. Mineral, agotamiento de recursos fósiles: debido a los metales usados en viñedo (Zn para postes).
2. Ecotoxicidad de agua dulce: debido al uso de Folpet-pesticida.
3. Toxicidad para el ser humano: efectos no cancerígenos por el zinc usado en fertilización.
4. Toxicidad para el ser humano: efectos cancerígenos por el cromo utilizado en los postes de acero.

Figura 4. Proceso del vino



Para validar los resultados del vino piloto (tales como la selección de categorías críticas, los ciclos de vida, los procesos y flujos más relevantes) se han realizado varios estudios complementarios o de apoyo. En ellos se testan tres vinos reales de diferentes tipologías y regiones europeas:

- i) Vino tranquilo producido en España y vendido en el Reino Unido.
- ii) Vino tranquilo producido y vendido en Italia.
- iii) Vino espumoso producido en Francia y vendido en diferentes países de la UE.

De los resultados se deduce que las categorías de impacto más relevantes difieren de un estudio a otro, pero en al menos en dos de tres estudios son las siguientes:

- 1. Ecotoxicidad de agua dulce.
- 2. Toxicidad para el ser humano, efectos no cancerígenos.
- 3. Mineral, agotamiento de recursos fósiles.
- 4. Eutrofización terrestre.
- 5. Agotamiento de los recursos hídricos.

La comparación de los resultados de los estudios complementarios con los del estudio piloto del vino muestra diferencias importantes, principalmente debido a las suposiciones y al conjunto de datos predeterminados utilizado en el primero.

Aunque se preveía la normalización y la posterior ponderación de la fase piloto para identificar las categorías de impacto más relevantes, tal y como indica la Guía PEF, se ha comprobado que el uso de factores de normalización y ponderación presenta algunas inconsistencias, y que los resultados no son lo suficientemente robustos como para poder aplicar las comparaciones de productos de forma automática.

Estos resultados tienden a sobreestimar o subestimar, especialmente, la relevancia de los impactos potenciales relacionados con las categorías toxicidad humana-efecto cancerígeno, toxicidad humana-efecto no cancerígeno,

eco toxicidad para el agua dulce acuática, agotamiento del agua, agotamiento de los recursos, radiación ionizante y uso de la tierra.

La aplicación de la metodología durante la fase piloto ha permitido poner de manifiesto muchas lagunas metodológicas a resolver antes de contar con una metodología fiable y robusta que permita una comparación equitativa y general de los productos y procesos. También ha mostrado la necesidad de información adicional acerca del almacenamiento de carbono a largo plazo, los efectos en la biodiversidad y un mejor modelado para pesticidas.

A día de hoy, la CEEV y la Secretaría Técnica del estudio Piloto PEF *Wine* siguen trabajando en el desarrollo de las reglas que deben guiar al sector en el cálculo de la huella ambiental de cualquier tipo de vino. Para ello se está trabajando en un nuevo proceso de análisis de ciclo de vida que pueda evitar las inconsistencias que han surgido durante el primer ensayo piloto y los estudios complementarios.

Está previsto que la PEF *Wine* pueda aprobarse y publicarse en 2018. Será entonces cuando la UE deba manifestarse acerca de su futuro, de la regularización del mismo, de cuál será el vehículo elegido para la comunicación de los resultados, así como de las ayudas necesarias para su desarrollo. Lo único claro hasta la fecha es que la metodología PEF va a ser el núcleo de cualquier política de la UE en materia de desarrollo de métodos de evaluación ambiental voluntaria.

Referencias bibliográficas

EUROPEAN COMMISSION (2013): Annex II: Product Environmental Footprint (PEF) Guide to the Commission Recommendation on the use of common methods to measure and communicate the life cycle environmental performance of products and organisations (2013/179/EU).

European Commission (2017). *PEFCR Guidance document* – Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3, December 2017.

General principles of the OIV GHG accounting protocol (GHGAP) for the vine and wine sector.

ISO 14040, ISO 14044 and ISO 14071 on Life Cycle Assessment.

Referencias web

WfCP: <http://www.wineriesforclimateprotection.com>.

PEFCR: http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/ef_pilots.htm.

MAPAMA (2018): <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mecanismos-de-flexibilidad-y-sumideros/sumideros-de-carbono/>.

La vitivinicultura y el cambio climático

La experiencia de Familia Torres

Miguel A. Torres

Familia Torres

Resumen/Abstract

A pesar de los esfuerzos que aparentemente nuestra sociedad está haciendo a escala global contra el cambio climático, la realidad es que a día de hoy los datos nos muestran que las emisiones de CO₂ alcanzan máximos históricos año tras año. Esta situación agrava los efectos del cambio climático, que van mucho más allá de un simple aumento de la temperatura media del planeta. De hecho, lo que genera es un desequilibrio meteorológico que provoca que los fenómenos a los que estábamos acostumbrados sean cada vez más extremos, y todos ellos afectan de lleno a la agricultura y, en particular, a la viticultura. Nuestro sector, que vive de la tierra y que por tanto sufre directamente los desajustes provocados por el cambio climático, puede convertirse en la punta de lanza en la lucha contra este fenómeno y un ejemplo de adaptación al mismo. Familia Torres puso en marcha en 2007 el programa *Torres & Earth* para adaptarse y contribuir a mitigar, en la medida de lo posible, los efectos del cambio climático. Se marcó el objetivo de reducir un 30 % las emisiones de CO₂ por botella en el año 2020 respecto los valores de 2008 mediante el uso de energías renovables, eficiencia energética y movilidad sostenible, entre otras medidas.

.....

Despite the efforts that our society seems to be making on a global scale against climate change, the reality is that today's data shows that CO₂ emissions reach record highs year after year. This situation exacerbates the effects of climate change, which go far beyond a simple increase in the average temperature of the planet. In fact, the result is a meteorological imbalance that causes the increasingly extreme phenomena we are becoming accustomed to, all of which affect agriculture and, in particular, viticulture. Our sector, which lives off the land and therefore directly

suffers the imbalances caused by climate change, can become the spearhead in the fight against this phenomenon and an example of adaptation to it. Torres Family launched the Torres & Earth program in 2007 to adapt and help mitigate, as far as possible, the effects of climate change. The goal was established to reduce 30 % CO₂ emissions per bottle in 2020 compared to 2008 values by using renewable energy, energy efficiency and sustainable mobility, among other measures.

1. Introducción. Los factores del cambio climático

El cambio climático es posiblemente la mayor amenaza que ha tenido el planeta desde la llegada del *Homo sapiens*. Los efectos más graves los notaremos en la agricultura: el aumento de las temperaturas y la sequía harán que muchos cultivos deban adaptarse o incluso abandonarse.

La *Vitis vinífera* es una planta extremadamente sensible a los cambios de temperatura y cada vez será más difícil mantener el mismo nivel de calidad de los vinos. El aumento de un grado del que hemos sido testigos en El Penedès en los últimos 40 años ha provocado que la vendimia se realice ahora, aproximadamente, y según los años, diez días antes que hace dos décadas. En Chile, la sequía y escasez hídrica se está convirtiendo en un problema en muchas regiones. Pero lo peor está aún por llegar: si la temperatura media actual sube otro grado a finales de siglo, la viticultura tal como la entendemos hoy sufrirá graves consecuencias.

Es cierto que la Tierra, a lo largo de los 4.500 millones de años de historia, ha tenido períodos más cálidos que el actual y períodos más fríos. De hecho, las diferencias no son tan grandes. Según James Lovelock (2007), la diferencia entre las temperaturas medias de la era preindustrial y las de las épocas glaciales sería de solo 5 grados. Y la diferencia entre el momento actual y los momentos más cálidos de la historia del planeta sería también de unos 4 o 5 grados.

La temperatura media actual a la Tierra es de unos 15 °C y, en estos últimos 500 millones de años, desde el Cámbrico, ha habido varias glaciaciones, pero en general las temperaturas han sido superiores a las actuales. Hace 65 millones de años, en la catástrofe K-T (Cretácico terciario), posiblemente un meteorito gigante se estrelló contra la Tierra y originó un gran enfriamiento a causa del efecto de los aerosoles. Mucho después, hace solo 20.000 años, tuvo lugar el momento de máximo frío y hielo de la última glaciación, un instante en la historia del planeta.

Pero también sabemos que desde hace 12.000 años, al acabar la última glaciación, con la llegada del Holoceno, hemos tenido un período de clima estable que ha hecho posible el desarrollo extraordinario de nuestra especie. A lo largo de estos años, las temperaturas han sido más estables, si bien es cierto que en los siglos XIII y XIV tuvo lugar el período cálido medieval. A este período cálido le siguió la pequeña edad de hielo, entre los siglos XVII, XVIII y mitad del XIX.

Se puede decir que, a lo largo de la historia del planeta, los cambios de temperatura han sido provocados por razones naturales, la mayoría plenamente explicables hoy en día gracias a los ciclos de Milankovitch, que tienen que ver con la elipse de la Tierra alrededor del Sol, con la inclinación del eje de la Tierra, etc. Por otro lado, también han influido las manchas solares, el desplazamiento de los continentes y las erupciones volcánicas, etc. Y estos cambios, en general, eran lentos: por ejemplo, la última subida de las temperaturas, hace 55 millones de años, en el Paleoceno-Eoceno, tardó 20.000 años y fue de 6 °C.

Pero en estos últimos siglos ha tenido lugar el efecto invernadero, que ya no tiene relación con causas naturales. Algunos gases de tipo antropogénico, sobre todo el CO₂, pero también el óxido nitroso, los HFC y el metano se han ido incrementando y han ido causando, con este efecto invernadero, una subida de las temperaturas. El *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), integrado por 2.500 especialistas del clima, en el informe que elabora para las Naciones Unidas cada 4 años para valorar exactamente el impacto del cambio climático, alerta de que el aumento de las temperaturas es antropogénico, es decir, que somos los hombres los que estamos provocando este nuevo período cálido.

El Instituto Francés de la Viña y del Vino, por ejemplo, elabora, desde 1860, un gráfico en el que muestra cómo crecen en paralelo las temperaturas medias y las dosis de CO₂ en la atmósfera. El contenido de CO₂ en la atmósfera en el siglo XIX era de tan solo 278 ppm (partes por millón). En la actualidad, ya hemos superado las 400 ppm. Pero lo que sería alarmante es que esta dosis de CO₂ llegara hasta las 500 ppm, o incluso más, este siglo. Si esto pasara, habría un gran peligro, ya que la temperatura podría aumentar considerablemente y también el nivel del mar.

Otra causa del aumento de las temperaturas es la deforestación. Los árboles, a través de la fotosíntesis, tienen una clara función de equilibrio para mantener el carbono en la Tierra. La tala de los bosques no solamente hace

imposible esta fotosíntesis sino que, además, la madera que se pudre fermenta y produce CO₂, que irá también a la atmósfera. A pesar de que se ha frenado un poco el proceso, según la FAO, en el 2015 aún se perdieron 33.000 km² de superficie forestal.

Por otro lado, los habitantes del planeta han crecido considerablemente: se ha pasado de 1.000 millones del año 1700 a 7.000 millones de la actualidad. Ashok Khosla, nuevo presidente de la UICN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza) considera que la reducción de la demografía debería ser una prioridad para combatir el cambio climático. La polución en las ciudades causa 7 veces más muertes que los accidentes de tráfico, según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el año 2014.

La capa de hielo en el Ártico es cada vez menor. Alexandra Cousteau dijo en *The Seattle Times*: «El cambio climático está provocando que la región del Ártico se caliente mucho más rápidamente que cualquier otra en la Tierra» (14 agosto 2015). En la Antártida, hay el 85 % del hielo del planeta, y siempre ha sido la reserva de hielo del mundo, a lo largo de millones de años. Es cierto que también hay hielo en Groenlandia (aproximadamente un 10 % del total), y en los glaciares, a pesar de que van disminuyendo (entre un 3 y un 4 % del hielo total). Pues bien, al derretirse el hielo de los glaciares y de la Antártida sube el nivel del mar. Los efectos ya son conocidos, pero lo peor está por llegar y el nivel de las aguas, en 2100, podría subir entre 50 y 100 cm.

El balance actual es ciertamente pesimista. «La amenaza a nuestro futuro no es la guerra armada sino el cambio climático, el crecimiento de la población, la escasez de agua, la pobreza, el aumento del precio de los alimentos... sin embargo, las industrias de armamento y del petróleo quieren mantener su status quo» (Brown, 2011). Las subvenciones de los gobiernos a los combustibles fósiles en 2012 fueron de entre 775.000 millones y un billón de dólares, frente a los 66.000 millones de dólares concedidos a las energías renovables, según la International Energy Agency. «¿Cómo podemos asumir el crecimiento de un sistema económico que deforesta los bosques, erosiona el suelo, seca los acuíferos, eleva la temperatura y derrite los glaciares en un futuro a largo plazo?» (Brown, 2011).

Pero hay también alguna esperanza. El Acuerdo de París contra el Cambio Climático, ratificado a finales del 2015 por casi 200 naciones, es un paso muy importante hacia este convenio mundial para la reducción de las emisiones, a pesar de que Estados Unidos, el segundo emisor global de gases de efecto invernadero, haya anunciado recientemente su retirada del pacto. La

Cumbre del Clima de Marrakech, celebrada a finales del 2016, dejó claro que hay un compromiso real de muchos países para luchar juntos contra el cambio climático, que el acuerdo de París del 2015 se está cumpliendo y empujando en favor de un modelo energético más limpio, tal y como decía el Informe Stern al recomendar a los países occidentales invertir en investigación de forma urgente el 1 % del PIB (Stern, 2007). Los gobiernos occidentales reducirán los impuestos generales y aumentarán los gravámenes por emisiones de CO₂ (Leggett, 2014).

2. La estrategia de mitigación y adaptación de Familia Torres frente al cambio climático

Es cierto que, a título particular, se pueden y hay que hacer esfuerzos. En Torres hemos dedicado años a buscar fórmulas para adaptarnos al cambio climático y paliar sus efectos. Si bien el foco en lo ecológico siempre ha formado parte de nuestra filosofía, ya que como viticultores vivimos de la tierra, ver el documental de Al Gore «Una verdad incómoda» en 2007 me impactó de tal manera que decidimos invertir 10 millones en los siguientes años, sobre todo en energías renovables, biomasa e investigación, con el objetivo de reducir un 30 % las emisiones de CO₂ por botella en 2020 en comparación con los valores de 2008, contemplado todo el alcance, es decir, desde la viña hasta el transporte final (Figura 1).

Para preservar el medioambiente y la biodiversidad, en Torres gestionamos una superficie similar de bosque que de viñedo, más de 1.850 ha en España frente a las 2.000 ha de viñedo. Hemos plantado recientemente 35 hectáreas de bosque en Catalunya en terrenos no forestales, que permitirán absorber 2.340 toneladas de CO₂ durante un periodo de 30 años, según el Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono del Ministerio de Agricultura. En Chile, tenemos 700 ha de bosque frente a las 400 ha de viñedo, y acabamos de adquirir 5.000 hectáreas en el sur del país donde plantaremos bosques en los próximos diez años para compensar las emisiones de CO₂ y contribuir a mitigar los efectos del cambio climático.

En nuestra bodega principal de Pals del Penedès, recolectamos y almacenamos el agua de lluvia para su uso posterior en la bodega –disponemos de dos balsas con capacidad para 38 millones de litros– y depuramos las aguas residuales; nuestra planta de tratamiento biológico de aguas residuales depura

1.200 m³ de agua al día, y el 40 % del agua, una vez potabilizada, es reutilizada en jardinería y limpieza de la bodega.

Figura 1. Reducción de CO₂ en la cadena de producto



Fuente: elaboración propia.

Potenciamos el uso de energías alternativas y la eficiencia energética. Así, por ejemplo, en nuestra bodega de Pacs del Penedès, cubrimos el 25 % de las necesidades energéticas a partir de placas fotovoltaicas —con una potencia instalada de 1.074 kw, que ocupan una superficie 18.000 m²— y biomasa (Figura 2). En 2012 instalamos una caldera de biomasa, la mayor caldera de biomasa de una bodega en España, que se alimenta con sarmientos y cepas viejas, orujos y raspones y aprovechamiento forestal, que nos permite reducir un 95 % el consumo de gas de la bodega. Hemos puesto en marcha recientemente una instalación de geotermia, con la que reducimos un tercio el consumo energético, representando un ahorro de 40.000 kw/h.

En lo que se refiere a la movilidad, impulsamos el uso de vehículos sostenibles: en 2014 estrenamos el primer tren eléctrico-solar utilizado en Europa para visitas de enoturismo, que permite disminuir a la mitad las emisiones de CO₂ en comparación con las que generaba el anterior tren articulado de motor diésel. Y estamos renovando la flota de vehículos de nuestros colaboradores y actualmente disponemos de 131 vehículos híbridos y eléctricos.

Figura 2. Placas fotovoltaicas en las instalaciones de Torres en Penedés



Fuente: elaboración propia.

Nuestra bodega Waltraud, donde envejecen nuestros vinos más emblemáticos, fue construida en 2008 con criterios de eficiencia energética. El edificio respeta la cota natural del suelo, con un primer nivel subterráneo donde los vinos reposan y envejecen en las barricas. Las cubiertas se han ajardinado con especies vegetales de baja necesidad hídrica y una capa de arena blanca evita que se caliente la bodega, que está situada justo debajo, gracias al efecto albedo, manteniendo fresca la sala de crianza y ahorrando así una cantidad importante de energía en la climatización de la misma (Figura 3).

Estamos también reduciendo el peso de las botellas y estudiando nuevos materiales de envasado. Trabajamos estrechamente con nuestros proveedores

para que calculen su huella de carbono y apliquen medidas de reducción de CO₂, unos esfuerzos que reconocemos cada año con la entrega de los Premios Torres & Earth. En Chile, no solo potenciamos la sostenibilidad desde el punto de vista del medioambiente, sino también de la sociedad, certificando nuestros vinos como comercio justo para garantizar una mejor calidad de vida del viticultor.

Figura 3. La bodega Waltraud



Fuente: elaboración propia.

Gracias a estas actuaciones de mitigación, hemos conseguido reducir un 25,4 % las emisiones de CO₂ por botella del 2008 al 2017 en todo su alcance, según el balance de organización verificado por Lloyd's en lo que atañe a nuestra bodega de Pacs del Penedès.

Pero, aparte de implementar medidas para reducir la huella de carbono, también debemos adaptarnos al nuevo escenario climático. El aumento de temperaturas provoca un desfase en la maduración de los diferentes componentes de la uva, lo que puede afectar a la calidad final de los vinos. Estamos cambiando la manera de cultivar nuestros viñedos con el fin de retrasar la maduración de la uva, mediante una poda diferente o utilizando porta-injertos

más resistentes a las altas temperaturas y a la sequía, pero puede que llegue un momento en el que debamos plantearnos cambiar de variedades en función de su gradiente térmico. O plantar variedades ancestrales recuperadas. En Torres, llevamos más de 30 años recuperando variedades prefiloxéricas y hemos descubierto que algunas de ellas, además de tener un gran potencial enológico, pueden resistir mejor la sequía y las altas temperaturas.

También tendremos que continuar desplazando los viñedos a mayor altura o latitudes más altas, buscando temperaturas más frías. Es lo que hemos estado haciendo los últimos 20 años en Torres, pensando en las generaciones futuras que tomarán las riendas del negocio. Tenemos viñedos en el pre-Pirineo catalán, en Tremp, a 950 m (Figura 4), y tierras en el Pirineo aragonés, en Benabarre, a 1.200 m, (donde todavía hace demasiado frío para el cultivo de la vid). En Chile hemos adquirido tierras en regiones más al sur y, por ende, más frías, junto al río Itata, para asegurarnos poder disponer de agua, que también será un problema en el futuro.

Figura 4. Viñedos de la Familia Torres en Tremp, a 950 metros de altitud



Fuente: elaboración propia.

Destinamos muchos esfuerzos a la investigación relacionada con el cambio climático. Una de las líneas en la que estamos trabajando actualmente es el desarrollo de tecnologías de captación y reutilización de CO₂ (*CCR - Carbon Capture and Reuse*). Para mantener las emisiones a un nivel que evite subidas de temperatura media por encima de los 2 °C acordados en la COP 21 de París, que para el sector vitivinícola ya serían muy críticos, los expertos dicen que la única forma es limitar la concentración de CO₂ en la atmósfera mediante el desarrollo de tecnologías que permitan la captura y almacenaje (CCA) o reutilización de dichos gases (CCR).

Por la disponibilidad de grandes cantidades de CO₂ altamente concentrado generado durante la fermentación alcohólica, el sector del vino tiene en sus manos la capacidad de abanderar la adopción de tecnologías CCR para reducir de manera importante las emisiones. Esto implica, ciertamente, un cambio de paradigma y es un camino largo y necesario, pero también viable.

En Torres, investigamos y apoyamos el desarrollo de estas tecnologías en colaboración con universidades y empresas tecnológicas, para buscar vías de aprovechamiento del CO₂ producido y darle usos alternativos que permitan obtener energía, biomasa, productos como bicarbonatos, etc. El abanico de posibilidades es amplio, aunque seguramente no haya un solo modelo válido sino que la solución pase por la combinación de diferentes técnicas. Nuestro sueño es llegar a ser, en un plazo de 10 a 15 años, una bodega neutra en emisiones, es decir, que seamos capaces de absorber la misma cantidad de CO₂ que emitimos con nuestra actividad. Todas las actividades se recogen en el programa Torres & Earth (www.torresarth.com) (Figura 5).

Desde el área de Investigación y Conocimiento también participamos en numerosos proyectos consorciados de ámbito europeo; actualmente, destacan *Globalviti*, que tiene como objetivo la aplicación de técnicas innovadoras en relación con las enfermedades de la madera, el manejo integral del viñedo y los procesos de vinificación; *Vinysost*, con la finalidad de mejorar la calidad y competitividad de los vinos españoles mediante la gestión sostenible de grandes viñedos; o *Rewine*, que promueve la reutilización de botellas.

Figura 5. Torres & Earth



Fuente: elaboración propia.

3. Conclusiones

El futuro de nuestro sector pasa por desarrollar la actividad de forma responsable e inteligente y elaborar productos que respeten el medioambiente. Nos encontramos, sin lugar a dudas, en un momento crucial en el que está en juego el futuro de las próximas generaciones. Hay que tomar conciencia real de los efectos devastadores del cambio climático y actuar. También los gobiernos.

Las empresas del sector vitivinícola estamos haciendo grandes esfuerzos en la lucha contra el cambio climático, especialmente en lo que respecta a inversiones en energías renovables, y las administraciones deberían facilitar la transición energética hacia un modelo limpio y sostenible. Pero hasta ahora, el Gobierno español ha hecho más bien lo contrario. El Decreto Ley 900/2015 ha hecho casi imposible la instalación de placas fotovoltaicas en autoconsumo tanto a nivel de las empresas como a nivel de los particulares. De hecho, España, que tiene la mejor situación para la obtención de energía eléctrica por medio de las placas fotovoltaicas, se está quedando por detrás de muchos países como Alemania o Reino Unido.

Debemos cambiar nuestro estilo de vida como individuos, como sociedad y como sector. El modelo de nuestra economía de ganancia a cualquier coste y de manera inmediata debe dejar paso a una visión más universal y humanista del desarrollo, que exige contemplar muchas perspectivas del progreso, del bienestar, de la salud y del mundo que legaremos a nuestros hijos. La opinión pública está a punto; sin embargo, los políticos de todo el mundo son reticentes, principalmente porque las compañías petroleras y del carbón tienen mucho poder político (Sachs, 2015).

James Green, director de exploración planetaria de la NASA, dijo recientemente: «*el clima cambia y puede destruir la vida. Si no aprendemos a emigrar a otros planetas nos extinguiremos*». No quisiera creer que mis sucesores deberán ir a plantar viñas en Marte y abandonar este bello planeta que, seguramente, todavía estamos a tiempo de salvar.

Referencias bibliográficas

- ALLEY, R. B. (2000): *The two-mile time machine. Ice cores, abrupt climate change and our future*. Princeton University Press.
- BROWN, L. R. (2011): *World on the edge. How to prevent environmental and economic collapse*. Earthscan.
- BRYSON, B. (2014): *A short history of nearly everything*. Lulu Press.
- FARIS, S. (2009): *Forecast. The consequences of climate change, from the Amazon to the Arctic, from Dafur to Napa Valley*. Henry Holt and Company.
- FLANNERY, T. (2006): *We are the weather makers. The story of global warming*. Penguin.
- GOLEMAN, D. (2009): *Ecological intelligence*. Penguin.
- IPCC Report (2007).
- JACKSON, T. (2012): *Prosperidad sin crecimiento*. Icaria.
- KLEIN, N. (2014): *This changes everything: capitalism vs the climate*. Simon and Schuster.
- KOLBERT, E. (2012): *Field notes from a catastrophe*. Bloomsbury Publishing.
- KRUPP, F. y HORN, M. (2009): *Earth: The Sequel: The Race to Reinvent Energy and Stop Global Warming*. W. W. Norton & Company.
- LABEYRIE, J. (1987): *El hombre y el clima*. Gedisa.

- LANGEVELD, H.; SANDERS, J. y MEESUSEN, M. (2012): *The biobased economy biofusels, materials and chemicals in the post-oil era*. Routledge.
- LEGGETT, J. (2014): *The Energy of Nations*. Routledge.
- LOVELOCK, J. (2007): *The revenge of Gaia*. Penguin.
- MÉNDEZ MUÑOZ, J. M. (2007): *Energía solar fotovoltaica*. FC Editorial.
- RIFKIN, J. (2011): *La tercera revolución industrial: Cómo el poder lateral está transformando la energía, la economía y el mundo*. Grupo Planeta.
- ROBERT, K. H. (2002): *The Natural Step Story. Seeding a Quiet Revolution*. New Society Publishers.
- ROMM, J. (2009): *Hell and High Water. How Global Warming will Forever Change*. Harper Collins.
- SACHS, J. D (2015): *The Age of Sustainable Development*. Columbia University Press.
- SCHEER, H. (2011): *El imperativo energético 100 % ya: Cómo hacer realidad el cambio integral hacia las energías renovables*. Icaria editorial.
- SCHWASS, J. (2008): *Crecimiento Inteligente: La experiencia de las mejores empresas familiares del mundo*. Grupo Planeta.
- STERN, N. (2007): *The Stern Review. The Economics of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- TERRADAS, J. (2006): *Biografía del Món*. Columna.
- URIARTE, A. (2003): *Historia del Clima de la Tierra*. Gobierno Vasco.
- WALKER, G. (2007): *Cataclismo climático: la historia de la gran catástrofe que engendró la vida moderna en nuestro planeta*. Antoni Bosch editor.

La política vitivinícola frente al cambio climático

Ignacio Atance Muñiz

MAPA

1. Particularidades del viñedo ante el cambio climático

El viñedo es un cultivo que se ha desarrollado tradicionalmente en España en condiciones de secano, generalmente en zonas de suelos pobres y frecuentemente en zonas de baja precipitación. Las producciones anuales de vino en España han sido dependientes de factores climatológicos especialmente asociados a nuestra diversidad climática como las heladas o los pedriscos, y, especialmente por su afectación al secano, la sequía o los golpes de calor. Es decir, seguramente el cambio climático traerá un incremento de la inestabilidad del cultivo, pero no se debe olvidar que el sector del vino ha tenido en la gestión de la inestabilidad de las producciones una de sus principales características.

El viñedo es también uno de los cultivos sobre los que son más evidentes ya los primeros efectos del cambio climático, así como los que están por venir. En primer lugar, los efectos generales sobre la actividad agraria en España. La región mediterránea es una de las zonas geográficas que más influidas se verán por el cambio climático: los modelos son muy concluyentes en el incremento de la temperatura, el incremento de la ocurrencia de fenómenos extremos y el descenso medio de las precipitaciones, lo que acrecentará la frecuencia de las sequías.

Como al resto de cultivos agrícolas, estos cambios afectarán al viñedo incrementando la variabilidad de las producciones, lo que sin duda supondrá un reto comercial importante pero no nuevo para el sector. No es fácil gestionar comercialmente cosechas que pueden variar casi un 100 % de una campaña a la siguiente al moverse con facilidad en la horquilla de entre 30 y 50 millones de hectolitros. Y menos hacerlo en un producto que se destina mayoritariamente a los mercados exteriores en los que el posicionamiento depende sustancialmente de la relación calidad-precio del vino español y por tanto de una cierta estabilidad en sus precios.

Por otra parte, ante la sequía el sector cuenta por una parte con el hándicap de estar presente en mayor proporción en secano. Según los datos del Anuario de Estadística Agraria, en 2016, el viñedo de secano representó el 76 % del viñedo total en superficie y aportó el 56 % de la producción de uva para vinificación. Si hablamos de hándicap es porque es la superficie en secano la más afectada por las variaciones anuales de las precipitaciones. Pero también es cierto que el viñedo cuenta con la ventaja de las escasas dotaciones de riego necesarias para desarrollar óptimamente un cultivo de calidad. En un contexto comercial orientado fundamentalmente a la calidad, ha quedado demostrado que dotaciones de entre 1.000 y 2.000 m³/ha, muy inferiores a las de casi cualquier otro cultivo en regadío en España, resultan en la inmensa mayoría de los casos óptimas.

En cuanto a los efectos particulares, el más evidente es el riesgo de desfase entre la maduración alcohólica de la uva (concentración de azúcares) y su maduración fenólica. Esto conlleva problemas evidentes, tales como el excesivo grado alcohólico de los tintos o la falta de acidez en los blancos. La vendimia del año 2017 ha sido el más claro exponente de este riesgo, con récords de fechas tempranas de vendimia a lo largo de todo nuestro territorio. La preocupación por el grado alcohólico de los vinos o las necesidades de desalcoholización parcial de los mismos está hoy presente en muchas de las jornadas técnicas y seminarios que se organizan en las zonas productoras, especialmente en aquellas con mayores valores térmicos.

2. Fortalezas del viñedo en España ante el cambio climático

Si una de las principales amenazas es la mayor inestabilidad productiva y los riesgos y dificultades comerciales que origina, la capacidad competitiva actual del vino de España supone una fortaleza. Afrontar el reto de la adaptación al cambio climático desde la posición de liderazgo de las exportaciones mundiales en volumen, con el reconocimiento de poseer posiblemente el producto de mejor relación calidad-precio del mercado es una importante ventaja.

Efectivamente, España es actualmente el primer exportador mundial en volumen de vino y el tercero en valor. En el año 2017, España exportó unos 25 millones de hectólitros, cifra que multiplica por 2,5 aproximadamente el consumo interior (en el entorno de 10 millones). Es decir, más del 70 % de la producción de vino se comercializa en el exterior. Si fijamos un umbral de exportaciones en 1 millón de litros, España superó este umbral en 72 mercados

en 2017. De hecho, el vino es, entre los principales productos agroalimentarios exportados por España, el que presenta el mayor grado de diversificación de las exportaciones, superior al del conjunto del sector agroalimentario, incluyendo otros productos de elevada exportación como carne de porcino, aceite de oliva o cítricos.

Sin duda, esta capacidad exportadora diversificada se apoya en la competitividad internacional de los vinos españoles. El precio unitario de exportación del vino en España se sitúa entre los más competitivos del mundo, hasta hace muy pocos años con dificultades para consolidarse por encima de la barrera de 1 euro/litro. No obstante, las últimas campañas han venido mejorando estos precios, aprovechando la coyuntura de campañas cortas tanto en España como en otros países productores y una cierta fortaleza de la demanda, siendo los últimos precios medios unitarios de exportación superiores a 1,30 euros/litro (concretamente 1,33 en febrero 2018).

Finalmente, cabe señalar también como fortaleza ante el cambio climático la diversidad geográfica y varietal de nuestro viñedo. Bien es sabido que está presente en todas las comunidades autónomas, aunque con marcados extremos: Castilla-La Mancha representa el 48 % de la superficie nacional, mientras que Asturias o Cantabria apenas presentan aproximadamente un centenar de hectáreas. Pero la diversidad no se limita a la geografía, sino también a las variedades. En 2017, existían 170 variedades diferentes en producción en España. De nuevo, obviamente, con gran heterogeneidad en su distribución, pues 60 de ellas no alcanzan el centenar de hectáreas y 40 no llegan a 50 hectáreas, con el riesgo de desaparición y de pérdida de diversidad.

3. Instrumentos para la adaptación al cambio climático

La respuesta de adaptación ante el cambio climático es y será fruto de decisiones privadas de los viticultores, bodegueros, cooperativas, asociaciones o consejos reguladores; en definitiva, de los agentes económicos del sector, que deben verse favorecidas y reforzadas por las actuaciones y regulaciones de las administraciones públicas.

Para ello es muy importante desarrollar estrategias de colaboración entre todos los agentes implicados. Cada viñedo, cada bodega, podrá tener una solución específica, pero para alcanzarla es bueno partir de una estrategia colectiva. Estrategia que debe partir por identificar los efectos en todas sus

dimensiones (viña, uva, vendimia, bodega, elaboración, comercialización) y desplegar todos los instrumentos al alcance para favorecer la adaptación.

En el ámbito de las explotaciones vitícolas, muchos de los capítulos de este libro desarrollan con detalle todas las herramientas que surgen. Desde actuaciones en la viña (orientación, poda, sistemas de conducción y sombreado, adaptación de técnicas y fechas de recolección), hasta otras de carácter más estructural como la localización del viñedo, elección de variedades, empleo del riego localizado, etc.

En cuanto a instrumentos públicos, el viñedo está afectado por dos instrumentos fundamentales: el régimen de autorizaciones de plantaciones y el Programa de Apoyo al Sector del Vino en España (PASVE). El régimen de autorizaciones no parece el instrumento adecuado con el que guiar la política de adaptación al cambio climático. En primer lugar, sus criterios de priorización no permiten discriminar con facilidad qué nuevas plantaciones estarían más o menos adaptadas al cambio climático. Además, como sector competitivo que es el del vino, y que deberá serlo aún más en el futuro, debemos suponer que con la suficiente formación y divulgación la totalidad de las nuevas plantaciones lo estarán, aunque a través de diversas soluciones, como se ha visto antes.

Sin embargo, seguir contando con una política sectorial específica y, en particular, con el Programa de Apoyo al Sector del Vino, nos permite afrontar con más garantías el reto. El actual Programa de Apoyo en el horizonte 2019-2023 tiene garantizado su presupuesto para los dos primeros años, pero las propuestas de reforma de la PAC recientemente presentadas por la Comisión Europea confirman su continuidad para los siguientes años. Buena parte de las inversiones que deban ser acometidas podrán contar con el respaldo de esta política, que seguramente deberá priorizar en mayor medida las actuaciones dirigidas a la adaptación al cambio climático de una manera consecuente con la trascendencia que tiene el problema.

Dentro del programa, destacan por su potencial de facilitar la adaptación al cambio climático las medidas de reestructuración y reconversión del viñedo y la de inversiones. La primera está dotada con 72 millones de euros al año destinados a los viñedos, mientras que la segunda tiene un presupuesto de 56 millones de euros al año para inversiones en bodegas.

La ayuda a la reestructuración y reconversión de viñedos es una medida que se aplica en España desde el año 2000 en el marco de la OCM vitivinícola, con la finalidad de contribuir a la adaptación de la producción a la deman-

da del mercado y reducir los costes de cultivo. Se articula a través del apoyo tres actividades: reimplantación del viñedo, reconversión varietal y mejora de las técnicas de gestión del viñedo. Desde el inicio de la aplicación de la medida hasta el 2017, se ha destinado a su aplicación en España un presupuesto de 2.175 millones de euros, con los que se ha actuado en 394.749 ha de viñedo, lo que supone el 42 % del plantado a 31 de julio de 2017.

En el nuevo PASVE para el periodo 2019-2023, aunque el objetivo general de la medida de reestructuración y reconversión de viñedo continúe siendo la mejora de la competitividad, las comunidades autónomas tienen la oportunidad de orientar sus estrategias regionales en esta medida para priorizar aquellas operaciones que contribuyan a la adaptación al cambio climático. Así, para 2019 en algunas comunidades, las solicitudes de reestructuración y reconversión de viñedos que fomenten la utilización de variedades tradicionales mejor adaptadas o la mejora de la ubicación de las parcelas serán priorizadas para percibir esta ayuda. Lo que es un primer paso.

Por su parte, el diseño de la medida de inversiones dentro del nuevo periodo 2019-2023 ha dado, dentro de sus objetivos estratégicos, un importante peso relativo a la sostenibilidad medioambiental en las empresas del sector vitivinícola. En dichos objetivos cobra un papel protagonista, recogiénose explícitamente, el fomento de la sostenibilidad integral, la producción ecológica, la certificación medioambiental y, muy especialmente, el incremento de la eficiencia energética, el uso de energías renovables y la valorización y tratamiento de residuos y efluentes. Ello, como no puede ser de otra forma, tiene su correspondiente reflejo en los criterios de valoración que se aplican a los proyectos de inversión y donde los que se refieren a eficiencia energética, uso de energías renovables para propio consumo y valorización, tratamiento o gestión de residuos cuentan con las puntuaciones máximas, llegando a ser determinantes en caso de desempate.

Por último, cabe hacer una referencia a la futura PAC-post 2020, cuyas primeras propuestas de reglamento se acaban de conocer en el momento de escribir estas líneas. En primer lugar, es importante congratularse de la continuidad que en la propuesta se da a los programas de apoyo con una dotación presupuestaria específica. Y, en segundo lugar, hacer notar el refuerzo que la propuesta realiza en lo relativo a los beneficios en materia de medioambiente y cambio climático que los programas deben de hacer. Este refuerzo se deriva del hecho de que formarán parte del plan estratégico de la PAC de cada Estado miembro y, por tanto, deberán responder a los objetivos en materia de medioambiente y clima,

incluyendo la evaluación ambiental estratégica a la que el plan estará sometido con carácter previo. Pero también con carácter específico, al facultar a los Estados miembros a establecer un porcentaje mínimo de gasto en los programas de apoyo dedicado a actuaciones en materia de protección del medioambiente, la sostenibilidad y la adaptación al cambio climático.

En paralelo, la estrategia de colaboración entre los centros de investigación, el sector y las administraciones, y las evidencias científicas que de ella se deriven, deberán ser la guía para otro tipo de medidas que puedan requerirse con el fin de garantizar que el sector pueda seguir proporcionando al consumidor el producto de calidad y garantía que en la actualidad representa el vino de nuestro país.