

Impactos y adaptación al cambio climático en España

Vicente Sotés Ruiz

Catedrático Emérito de Viticultura. Universidad Politécnica de Madrid vicente.sotes@upm.es

Vicepresidente. Organización Internacional de la Viña y el Vino-OIV

Resumen

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 está estudiando los posibles riesgos y oportunidades. Este capítulo analiza 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.

Abstract

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

1. Introducción

Retos del cambio climático para el viñedo

Una modificación de las características climáticas actuales afectaría a la distribución de la vegetación natural y 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).

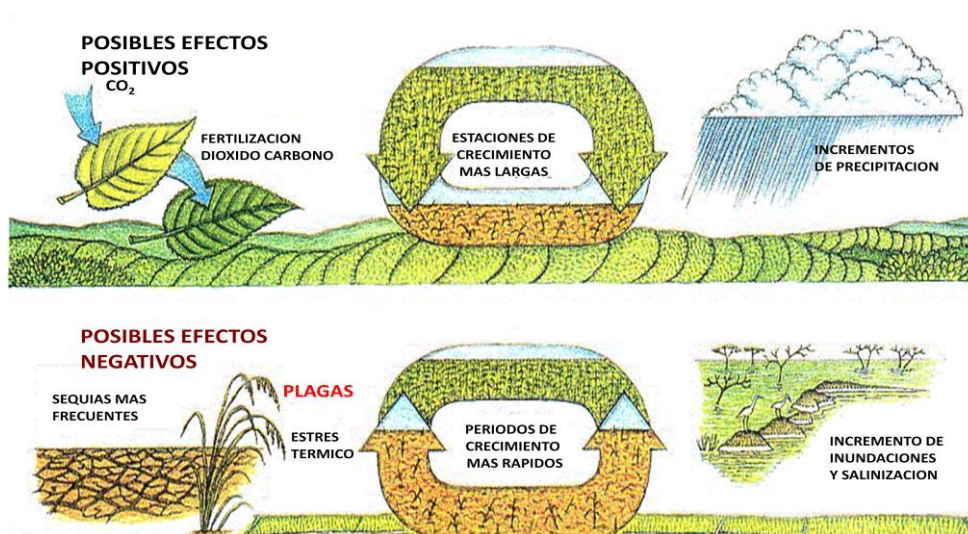


Figura 1. Efectos del cambio climático sobre la producción de cultivos (Fuente: adaptado de Rosenzweig *et al.*, 2002)

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 sólo 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 la uva y en el rendimiento de la vid (Schultz, 2000; Jones *et al.*,

2005; Santos *et al.*, 2012; Bindi *et al.*, 1999) en mayor o menor medida. 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.

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 pluviométrica interanual está entre 20% y el 40% (Castro *et al.*, 2005). Como consecuencia del aumento de temperatura y 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 XXy no es homogéneo: es mayor en zonas interiorespor 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 posibles daños a los cultivos por lluvias torrenciales e inundaciones. Todas las proyecciones parecen indicar un aumento 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 incremento de los períodos de sequía junto con un aumento de las lluvias torrenciales y de 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, evapotranspiración potencial, 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 $-1,5^{\circ}\text{C}$, y en período invernal 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

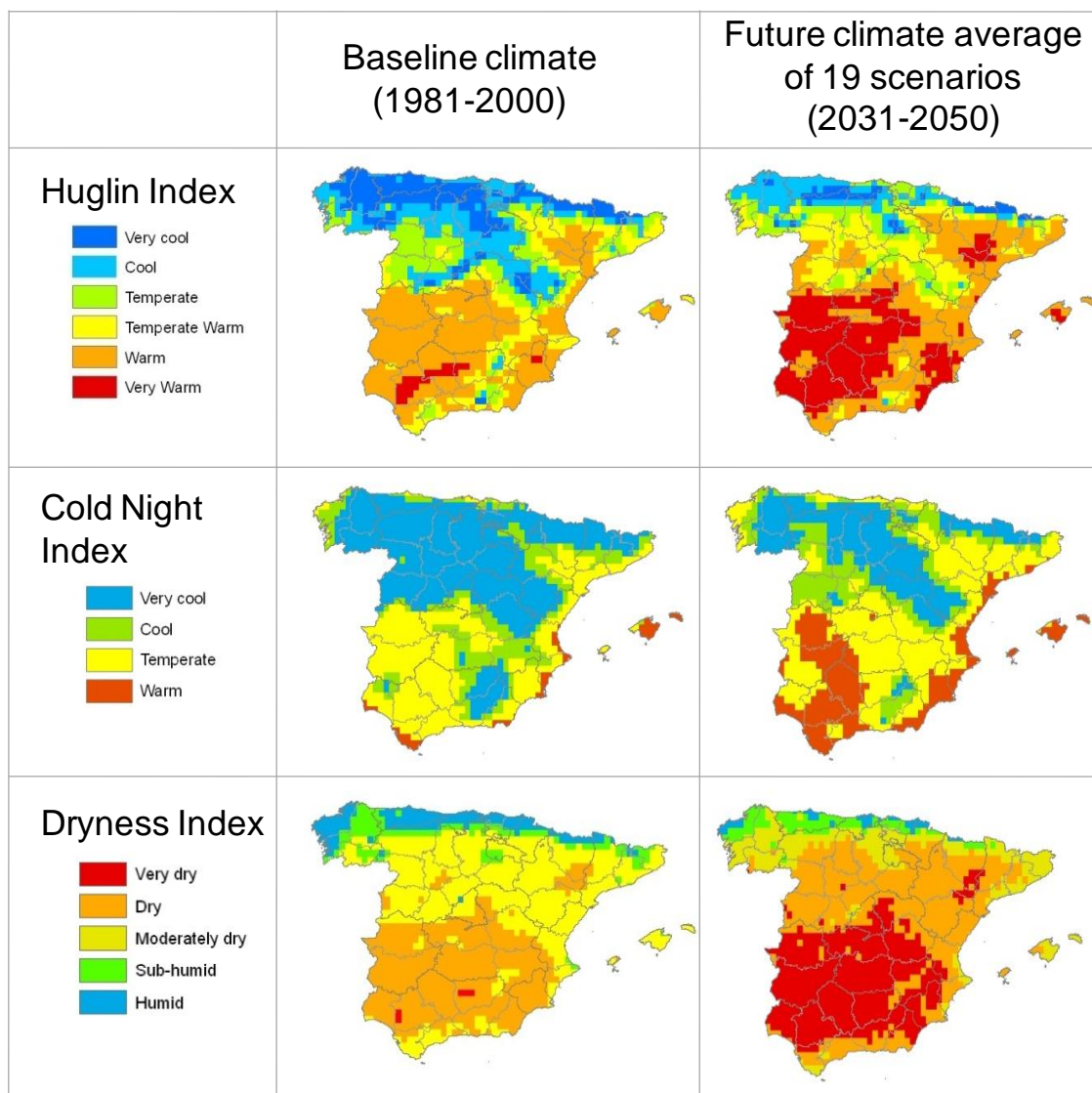
climáticos más importante (heliotérmico, frescor nocturno y sequía), que constituye el clima de cada región. Resco *et al* (2014) han usado esta metodología y los datos de escenarios regionales del proyecto ESCENA para evaluar los efectos del cambio climático en las regiones de España. Los resultados 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 2 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 2), muestra como las zonas más frías quedan restringidas a las zonas montañosas del Sistema Central, Ibérico, Pirineos y la Cordillera Cantábrica con algún punto en el Bético, mientras que las zonas más calurosas van ascendiendo desde la costa por los valles. A mediados de siglo quedarían como zonas 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 zonas 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 noche frescas.

Figura 2.

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

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 2). 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 existencia 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.

Nos encontramos con tres tipos de zonas. La Zona I incluiría el sur peninsular, con grandes incrementos de temperaturas y 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.

La 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. La 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. Por último, la 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 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 medio ambiente.

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

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 Estados Unidos 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.

Balance de carbono de la viticultura

Se entiende por “huella de carbono” o por “balance de gases de efecto invernadero” 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 fija 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 NO₂ 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.

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 estas 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 en general. Los beneficios medioambientales derivados de la implantación de este tipo de medidas incluyen efectos positivos sobre la biodiversidad, reducción de la erosión del suelo, incremento de la precipitación efectiva y disminución de la pérdida de nutrientes, y pueden tener ciertos efectos negativos sobre el medio ambiente, 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 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 zonas se encuentran las zonas 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 afectadas por un aumento de 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 de diversas formas.

Ante un aumento de temperatura y 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 suelo 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 gran inconveniente en zonas áridas. Sin embargo, una cobertura 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 disponibilidad) puede ser una estrategia rentable económica 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 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 y frecuentes que pueden 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 sin los riesgos provocados por el cambio climático, en que 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 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; 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 cambios de ubicación de los viñedos (Malheiro *et al.*, 2010). Es importante ampliar la diversidad genética de las variedades tradicionales y desarrollar nuevas 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 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 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 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 sobre los productos (tipicidad de los vinos). 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). 4

6. Conclusiones

El sector 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 con una mayor eficiencia productiva, las normativas no son tan estrictas en cuanto a delimitación de terrenos o zonas y resultarán más factibles 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, de zonas donde antes no era posible cultivar viñedos por las condiciones climáticas, 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, disponibilidad de recursos y regulaciones agrarias. La mayor parte de los viticultores 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.

7. Bibliografía

- 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* Vol. 7, pgs.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, n° 5-6, pgs. 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". In J. M. Moreno, *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático* (pgs. 1-64). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente
- Ewert F, Rounsevell MDA, Reginster I, Metzger MJ, Leemans R (2005) Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 107, 101-116
- Fregoni, C. y Pezzutto, S. (2000). "Principes et premières approches de l'indice bioclimatique de qualité de Fregoni". *Progr. Agric. Vitic.* 18, pgs. 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), pgs.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*, n° 221, 2009.
- 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, pgs.409-430.

- Jones, G.; White, M. A.; Cooper, O. R. y Storchmann, K. (2005). "Climate change and global wine quality". *Clim. Change* 73 , pgs.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), pgs.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 , pgs.153–159.
- Kroodsma, D. y Field, C. (2006). "Carbon sequestration in California agriculture", 1980-2000. *Ecol Appl.*, 16 (5), pgs.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), pgs.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), pgs.163-177.
- Moreno Rodríguez, J. M. (2005). *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático*. Madrid: Secretaría General Técnica. Ministerio de Medio Ambiente.
- Resco P., Bardaji I., Iglesias A., Sotés V. (2014). Vulnerabilidad del viñedo español al cambio climático (245-270 pp). En *La economía del vino en España y el mundo* 730 pp. Cajamar Caja Rural, Almería.
- Resco, P.; Iglesias, A.; Bardaji, I.; Sotés, V. (2015) "Exploring adaptation choices for grapevine regions in Spain". *Regional Environmental Change* 16 (4): 979-993. DOI: 10.1007/s10113-015-0811-4. 2015
- 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, F N Tubiello, R Goldberg, E Mills and J Bloomfield (2002) Increased crop damage in the US from excess precipitation under climate change, *Global Environmental Change* 12, 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 , pgs. 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 29 de mayo 2014
- Sotés Ruiz, V.; Gómez-Miguel, V.; Almorox, J.; Vidal Ragout, J. y Vida Navarro, L. (2012). "Clima, zonificación; tipicidad del vino en España". In J. Tonietto, V. Sotés Ruiz, y V. Gómez-Miguel (Eds.), *Clima, zonificación; tipicidad del vino en regiones vitivinícolas Iberoamericanas* (Vols. ISBN 978-84-15413-10-3). Madrid: CYTED.
- Tonietto, J. y Carbonneau, A. (2004). "A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide". *Agricultural Forest Meteorology*, 124 , pgs.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), pgs.259-264.