Cambio climático y viñedo en España

EFECTOS Y ADAPTACIÓN DEL VIÑEDO AL CAMBIO CLIMÁTICO

COAG

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Fundación Biodiversidad

CON EL APOYO DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE A TRAVÉS DE LA FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD

Edita: COAG
Agustín de Bethancourt, 17, 5ª Planta
28003 MADRID
Teléfono: 91 534 63 91 Fax: 91 534 65 37
coagmadrid@coag.org
www.coag.org

Depósito legal: M-7560-2016

ÍNDICE

Introducción **3**
El cambio climático 4
Efectos del clima en la producción vitícola **6**
Efecto de las variables climáticas 6
Temperatura 6
Humedad 8
Radiación 8
Viento 8
Daños causados por extremos climáticos 9
Vulnerabilidad de la producción vitícola al cambio climático **11**
Los impactos en la agricultura 11
Instrumentos para medir el impacto del cambio climático **15**
Escenarios climáticos 15
Índices de riesgo de extremos climáticos 15
Olas de calor 15
Heladas 16
Índices climáticos de producción y calidad 16
Índice de Huglin 17
Índice de frescor nocturno 17
Índice de sequía 18
Resultados **20**
Extremos climáticos 20
Zonificación del territorio de acuerdo con la calidad 22
Cambios en los valores medios de los índices 22
Territorio afectado por los cambios en los valores medios de los índices 23
Cambios en las zonas con alto potencial climático para la viticultura 25
Zonas con bajo potencial climático para la viticultura 26
Análisis de necesidades de adaptación **28**
Cornisa Cantábrica y Galicia 29
Zona centro: Castilla La Mancha y León, Extremadura y Madrid 30
Zona noreste y valle del Ebro 31
Levante, Murcia y Andalucía 31
Estrategias de adaptación en la viticultura **32**
Conclusiones **34**
Bibliografía **37**

INTRODUCCIÓN

El sector vitivinícola en España se enfrenta a dos importantes incertidumbres a corto y largo plazo. La primera de ellas es el proceso de globalización, que implica una mayor competencia en el mercado. Esta internacionalización del comercio tiene cada vez más importancia en España debido a dos factores. En primer lugar, la caída del consumo interno, un proceso común al resto de países del sur de Europa tradicionalmente más consumidores. En segundo lugar, la eliminación de algunas medidas de regulación dentro de la última reforma de la Organización Común de Mercado (OCM), principalmente la destilación de usos de boca a partir de 2010. Estos dos factores han generado un mayor volumen de excedentes que se que se destinan a la exportación. La búsqueda de nuevos mercados hace que para competir en el mercado internacional sea necesario que los vinos españoles mantengan un buen equilibrio entre calidad y precio y que, en combinación con diferentes herramientas comercialización como la promoción, sirva para atraer a nuevos tipos de consumidores en distintos mercados.

El Cambio Climático es la otra gran incertidumbre para el sector vitivinícola. Las proyecciones climáticas disponibles actualmente indican que si las emisiones de gases de efecto invernadero continúan al ritmo actual, podría darse en la Península Ibérica un aumento de las temperaturas y un descenso de las precipitaciones, unido también a un aumento de fenómenos climáticos extremos como sequía u olas de calor. No obstante, debido a la compleja topografía y situación geográfica de la Península Ibérica, ni la intensidad de estos cambios ni sus efectos serían homogéneos. La viticultura tiene una alta dependencia del clima, debido su papel determinante en la calidad de la cosecha y en el rendimiento del cultivo. Por ello las variaciones en las condiciones climáticas pueden afectar al precio, a la rentabilidad y las posibilidades de competir en un mercado cada más globalizado y demandante de calidad.

La vulnerabilidad de la viticultura al Cambio Climático depende de la magnitud de los impactos, de la sensibilidad al propio impacto, que determinaría unas necesidades de adaptación, así como de la capacidad de adaptación de los agricultores, que depende de factores internos y externos a la propia explotación. La disponibilidad de recursos financieros, tecnológicos o de información, las perspectivas de los mercados, la percepción sobre el riesgo o la existencia de un marco normativo adecuado son variables que inciden en la capacidad de adaptación (Tonietto et al., 2012).

EL CAMBIO CLIMÁTICO

En los últimos dos siglos el crecimiento de la población y de los niveles promedio de consumo individual que se han producido, ha generado un vertiginoso incremento de la demanda de todo tipo de recursos. Esta expansión del consumo provocada por el desarrollo tecnológico está causando que el ser humano produzca, por primera vez en la historia de la humanidad, impactos globales sobre el planeta. Uno de estos impactos es el incremento de las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) que han contribuido a un calentamiento totalmente inusual durante los últimos 150 años (IPPC 2000; Stott et al., 2001). Este proceso, que se conoce como Cambio Climático, es probablemente uno de los desafíos más difíciles para el futuro de nuestro planeta. La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), define este como el cambio del clima atribuido directa o indirectamente a actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera mundial, y que viene a añadirse a la variabilidad natural del cima observada durante periodos de tiempo comparables (IPCC, 2014).

Los GEI que más preocupan son el metano (CH_4), el óxido nitroso (N_2O) y el dióxido de carbono (CO_2). Aunque estos gases pueden proceder de fuentes naturales o antropogénicas, estas últimas constituyen el mayor aporte humano a los GEI y se deben principalmente a la combustión de hidrocarburos fósiles. Las emisiones de GEI han tenido un crecimiento de tipo exponencial desde el periodo industrial a lo que hay que sumarle los efectos de la deforestación. En el último siglo las concentraciones atmosféricas de CO_2 aumentaron de un valor preindustrial de 278 ppm a 379 ppm en 2005 (Figura 1), al tiempo que, en el último siglo, la temperatura media global aumentó en 0.74°C (IPCC, 2007).

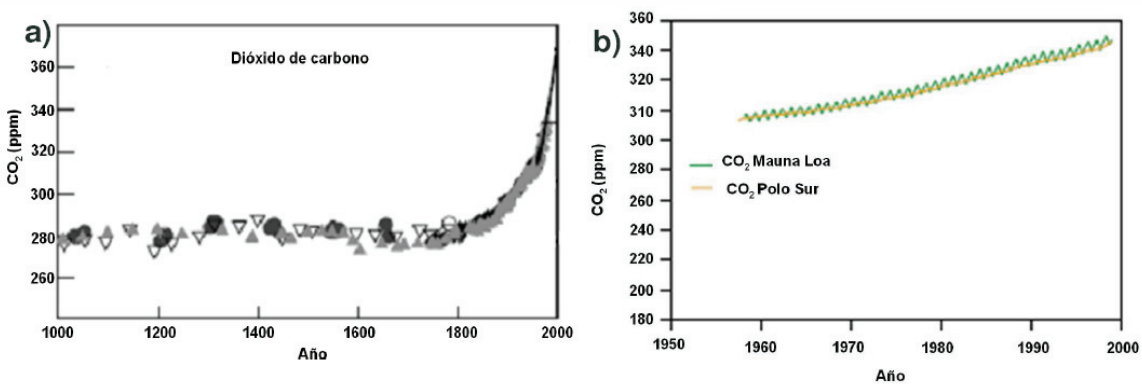


Figura 1. Concentraciones atmosféricas de CO2 en los últimos 1000 años (a) y en el periodo 1950-2000 (b) (IPCC, 2014)

El Cambio Climático provocado por los GEI es un proceso que es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos y el aumento del promedio mundial del nivel del mar. Las observaciones de series históricas indican que los cambios en las temperaturas son más intensos en las regiones septentrionales y en las zonas terrestres. La evolución de las precipitaciones tampoco ha sido homogénea, ya que aunque a lo largo de todo el siglo aumentaron por ejemplo en Europa septentrional y América del Norte, disminuyeron en zonas como el Sahel y en el mediterráneo. También es probable que las superficies afectadas por la sequía, o que la frecuencia de fenómenos climáticos extremos como olas de calor, precipitaciones intensas también hayan aumentado desde los años 70 (IPCC, 2014).

Este proceso se ha venido analizando en el caso concreto de España, siendo la Península una de las regiones europeas con mayores impactos potenciales por incrementos del estrés térmico y de la escasez de agua (Giorgi, 2006). A pesar de la incertidumbre proveniente de su alta variabilidad, se ha podido constatar que durante el siglo XX, y particularmente desde la década de los 70 de ese siglo, las temperaturas en España han aumentado de forma general, con una magnitud algo superior a la media global del planeta, especialmente en invierno (Castro et al., 2005).

Por otra parte, también las precipitaciones durante este periodo han disminuido, sobre todo en la parte meridional (Moreno, 2005), mientras que ha aumentado significativamente su variabilidad. El resultado es un aumento de la evapotranspiración con consecuencias para la disponibilidad y calidad de agua. Además, el impacto social de la sequía en España es creciente debido a la concentración de la población en zonas urbanas, el aumento de la población estacional, los controles inadecuados del uso del agua, las limitaciones a la iniciativa política, y los impedimentos culturales. La sequía afecta a la mayoría del territorio, pero sus impactos varían entre los distintos sectores, grupos de usuarios y regiones.

Las emisiones de estos gases acumuladas determinarán en gran medida el calentamiento medio global en superficie a finales del siglo XXI y sus efectos perdurarán durante muchos siglos, incluso aunque pararan las emisiones de CO2, lo que supone una notable inexorabilidad del Cambio Climático durante varios siglos, debido a las emisiones de CO_2 pasadas, presentes y futuras (IPPC, 2014).

EFECTOS DEL CLIMA EN LA PRODUCCIÓN VITÍCOLA

El viñedo desempeña un papel importante en el paisaje mediterráneo, gracias a su buena adaptación al clima, sobre todo a las condiciones semi-áridas, lo que ayuda a explicar que sea un cultivo tan extendido en toda España.

La agricultura en muchas regiones semiáridas del mundo se ha desarrollado para hacer frente a la escasez de agua por medio de las técnicas más adecuadas de gestión de la tierra y del agua. En la cuenca del Mediterráneo ha sido siempre muy dependiente de la trilogía tradicional de los cultivos de secano, que son el cereal, la viña y el olivar, lo que resulta en una estrecha relación con el medio ambiente que supera las fronteras locales, regionales y nacionales. La relevancia de cultivo de la vid en condiciones semiáridas fue universalmente aceptada como una alternativa agrícola en esas regiones del mundo donde la elaboración del vino es más que una actividad industrial (Riquelme, 2005). Los suelos donde la vid se ha cultivado tradicionalmente no son muy profundos, tienen poca capacidad de retención de agua y hay pocas alternativas agrícolas para cultivar cualquier otro cultivo. El viñedo contribuye por tanto a enriquecer el paisaje y a una mejor utilización de tierras que de otra forma se abandonarían. Además ayuda a limitar la erosión y también a proteger contra incendios. El manejo inadecuado de los sistemas de cultivos de secano en estas condiciones llevaría a romper el equilibrio, incrementar la erosión y la degradación de la tierra, malgastar los recursos de precipitaciones y dar lugar al despoblamiento rural.

EFECTO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS

El clima tiene una importante influencia en la fisiología de la vid a través de los distintos componentes. Las temperatura, la lluvia, el déficit de presión de vapor, evapotranspiración potencial, horas de sol y viento determinan junto con las prácticas culturales y el suelo, la calidad de la cosecha y la productividad del viñedo. Aunque más abajo se encuentra una breve descripción de la influencia de cada uno de estos factores en la calidad de la uva, en la Tabla 1 se resumen las necesidades climáticas del cultivo según los periodos de crecimiento.

TEMPERATURA

En el caso de las temperaturas, la vid es una planta sensible a heladas y exigente en calor para su desarrollo y la maduración de los frutos. La temperatura durante el periodo de activo de vegetación y su amplitud, son aspectos críticos debido a su gran influencia en la capacidad de madurar las uvas y obtener niveles óptimos de azúcares, ácidos y aromas, con el fin de maximizar un determinado estilo del vino y su calidad (Jones et al., 2005). Esta temperatura no es uniforme para todos los viñedos, ya que la cantidad de calor que la uva requiere para madurar completamente varía enormemente entre las diferentes variedades.

Tabla 1. Necesidades según los periodos de crecimiento (Resco et al., 2014)

Etapa	Fecha de inicio	Necesidades
Etapa I (brotación)	Mediados de marzo o la primera semana de abril con T media > 10 °C	Abundante humedad del suelo y con sol, temperaturas superiores a los 10 °C para el crecimiento vegetativo.
		Las heladas pueden reducir rendimientos y calidad
Etapa II (desde floración hasta envero)	Final primavera, con T media >15° C	Condiciones secas y temperaturas estables para no obstaculizar el crecimiento de las flores
Etapa III (envero y su maduración hasta cosecha)	A finales de julio o la primera semana de agosto	Condiciones secas para limitar la podredumbre de la uva con temperaturas moderadas, pero sin estrés excesivo
		Salto térmico importante entre el día y la noche
		Maduración en época fresca pero con calor suficiente para continuar la acumulación de azúcares y desarrollo del aroma de las bayas
Etapa V (latencia)	A generalmente entre finales de septiembre y mediados de octubre	Invierno frio y lluvioso

También la temperatura del aire en el periodo de maduración o más aún, la diferencia de temperaturas entre el día y la noche durante este periodo tiene grandes influencias en este proceso, incluyendo aromas y coloración (Tonietto y Carbonneau, 2004). La uva poco madura por bajas temperaturas produce vinos poco alcohólicos y ácidos, lo contrario que con temperaturas más altas.

En cuanto a sus límites, se admite en general que la vid resiste temperaturas en periodo de vegetación de hasta los -1,5 °C y en periodo invernal hasta los -12 °C para las yemas y los -20 °C para la madera. Aunque para obtener una calidad adecuada su temperatura media anual óptima está entre los 11 °C y los 18 °C, con un mínimo de 9° C y un máximo que puede llegar en valor absoluto a sobrepasar los 40 °C, aunque con mayor riesgo de desecaciones en hojas y frutos y en algunos casos muerte de la planta. En general, temperaturas excesivamente altas (por encima de 35 °C) durante largos períodos de tiempo pueden dañar la calidad (Mori et al., 2007).

Para el cultivo de la viña interesa una brotación precoz, resultante de una temprana elevación de la temperatura al final de un invierno frío. También una parada del crecimiento precoz al final de la primavera, resultante de elevados productos heliotérmicos, y un largo periodo de maduración moderadamente cálido (Hidalgo, 2002) con contrastes fuertes entre día y noche (Tabla 2). En el efecto sobre el color se ha constatado que la síntesis óptima de antocianos se produce entre 17 °C y 26 °C y que temperaturas nocturnas entre 15 °C y 20 °C dan mayor coloración al hollejo que temperaturas nocturnas más altas (Jones, 1999).

Tabla 2 Consecuencias de la variación diaria de la temperatura (Sotes, 2004)

	Temperatura diurna	Temperatura nocturna
Alta	Mayor tasa fotosintética. Mayor rapidez tanto en el metabolismo de ácidos como en la producción de aromas.	Degradación rápida del ácido málico. Degradación parcial de azúcares y otros compuestos como antocianos.
Baja	Menor tasa de fotosíntesis. Mayor lentitud en el metabolismo de ácidos.	Degradación lenta del ácido málico. Buena retención de azúcares. Menor metabolismo de componentes como antocianos.

HUMEDAD

La vid resiste muy bien la falta de humedad, de hecho un exceso de lluvia, además de provocar problemas de enfermedades en la planta y en los racimos, puede perjudicar la maduración de la uva. Dentro de su ciclo vegetativo necesita inviernos y primaveras que aporten humedad suficiente al suelo, aunque sin un exceso de lluvias primaverales que podrían favorecer la aparición de enfermedades en la brotación. Su sistema radicular le permite aprovechar esta humedad de las capas profundas y resistir así la sequía estival típica del mediterráneo; de hecho para una correcta floración y maduración necesita ambientes secos, siempre que la falta de humedad no sea excesiva. Esta restricción hídrica moderada juega un importante papel en el vigor de la vid y la reducción del rendimiento, así como en la mejora del potencial cualitativo (Coipel et al., 2006). Aunque para el cálculo de las necesidades hídricas del cultivo de la vid es preciso estudiar no sólo la cantidad de precipitaciones y su distribución, también el potencial de evapotranspiración (Carbonneau 1998) ya que la transpiración foliar está ligada con las condiciones de humedad del suelo y déficit de presión de vapor en la atmósfera (Choné et al., 2001).

RADIACIÓN

La vid precisa de una radiación elevada de entre de 1.500 a 1.600 horas anuales, de las que un mínimo de 1.200 horas debe corresponder al periodo de vegetación activa para la fotosíntesis (Hidalgo, 2002). La radiación es importante para la madurez y color de los racimos.

VIENTO

La importancia de los vientos depende mucho de la topografía del terreno y de las características específicas de la zona. Los vientos pueden ser beneficiosos al reducir la temperatura o favorecer la fecundación, o dañinos si son huracanados, demasiado cálidos o demasiado fríos, sobre todo cuando actúan directamente sobre la cepa. El efecto también

depende del estado fenológico o del momento en el que tenga lugar, por ejemplo un viento seco puede desecar el fruto haciendo perder producción y calidad a la cosecha o reducir la aparición de enfermedades si tiene lugar con el rocío.

DAÑOS CAUSADOS POR EXTREMOS CLIMÁTICOS

Debido a la importancia del clima, las adversidades climáticas tienen una especial relevancia en la viticultura por su elevado grado de exposición. El Banco Mundial considera como riesgos climáticos la sequía, las inundaciones, lluvias persistentes, pedrisco, heladas, nieve, viento y frío continuado. En cuanto a su importancia en España se estima que el 90 % de los productores de nuestro país, independientemente de su actividad productiva, ha padecido siniestros en alguna ocasión (ENESA, 2007).

Cerca del 82 % de los siniestros declarados en España en el periodo 1980-2009 dentro del sistema de seguros agrarios en las líneas agrícolas corresponde a tres riesgos: pedrisco, helada y sequía, que han supuesto el 83,5 % de la siniestralidad abonada a lo largo de toda la serie histórica (Figura 2). El pedrisco es el riesgo que mayor porcentaje de siniestros e indemnizaciones acapara.

Varios motivos determinan esta situación, como son el hecho de ser la cobertura más contratada históricamente y con menos franquicias. Por el contrario tanto la helada como la sequía han sido garantías opcionales al pedrisco, lo que explica en parte el menor número de siniestros con respecto a aquel. En el resto de riesgos, se debe destacar su importancia en determinados ámbitos geográficos y cultivos (Agroseguro, 2010).

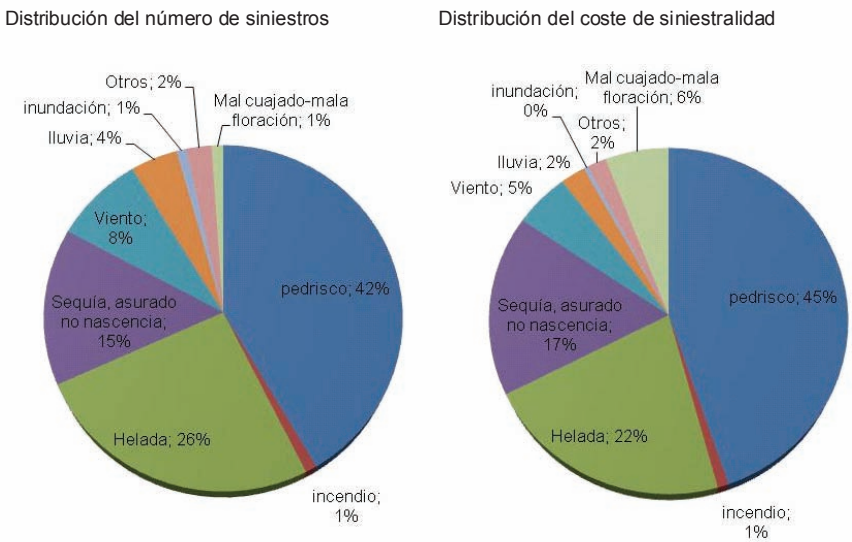


Figura 2. Distribución del número de siniestros y de la siniestralidad dentro del sistema de seguros agrícolas durante el periodo 1980-2009 (elaboración propia con datos de Agroseguro, 2010)

Estos datos concuerdan con un estudio realizado por la consultora Ikerfel para el Ministerio de Agricultura, que aunque no cuenta con datos específicos sobre el viñedo, identificaba el pedrisco como la preocupación principal del productor agrario, seguido de los precios y la helada (Figura 3).

En el caso del viñedo, el riesgo de helada ha respondido históricamente a siniestros cíclicos con una elevada intensidad en los daños cuando se producen. Sin embargo, si se observa la tendencia, los datos de los últimos muestran una menor incidencia de este riesgo, influenciados por el Cambio Climático, su variabilidad natural y los nuevos métodos de cultivo en espaldera y regadío, que reducen los daños ocasionados por la helada.

Figura 3. Percepción del riesgo por los agricultores en España (Ikerfel, 2009)

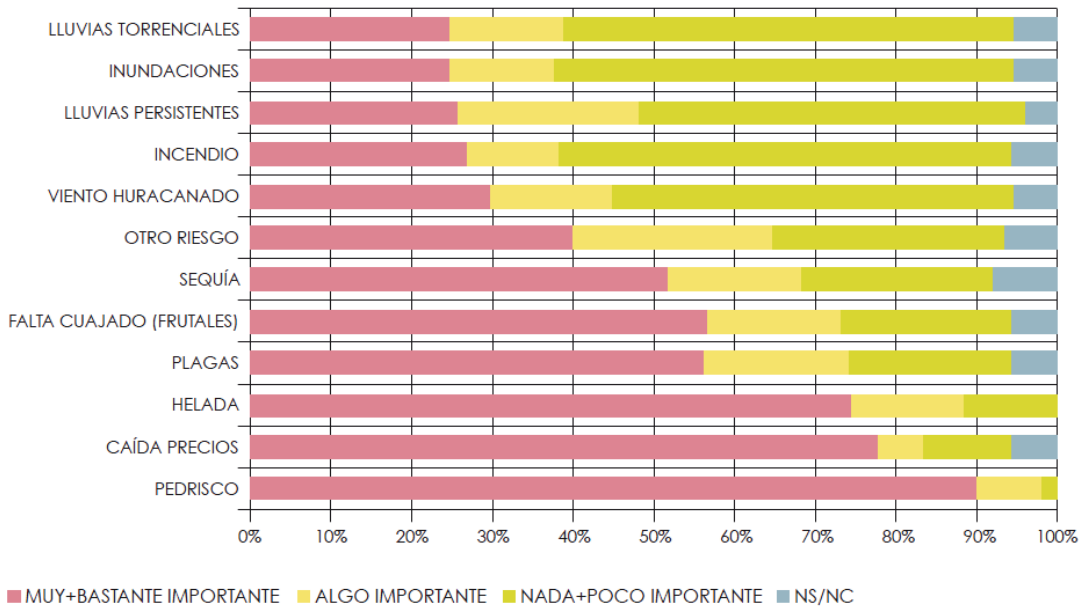


Tabla 3. Series histórica de siniestralidad en el seguro por daños de helada en España (Agroseguro, 2009)

Riesgo	Daños sobre el valor de la Producción
Helada (SH 1982-08)	5,5 %
Helada (SH 1999-08)	4,2 %
Helada (SH 2003-08)	0,7 %

VULNERABILIDAD DE LA PRODUCCIÓN VITÍCOLA AL CAMBIO CLIMÁTICO

Junto con la globalización de la economía y el cambio en los patrones de consumo, el Cambio Climático es uno de los grandes retos a los que se enfrenta la viticultura actualmente. El Cambio Climático representa una serie de riesgos y oportunidades dependiendo de los condicionantes intrínsecos y extrínsecos. En función de ellos, la variación del clima podría alterar de diferente forma la viticultura actual, desplazando en mayor o menor medida el equilibrio que existe entre clima, suelo y prácticas de manejo, dando lugar a cambios en la calidad y en el rendimiento. También podrían provocar cambios en la localización, al permitir su expansión a zonas actualmente muy frías. Todo ello, tendría consecuencias en el mercado y en la rentabilidad del sector vitícola en España, en Europa y en el Mundo.

LOS IMPACTOS EN LA AGRICULTURA

Los riesgos de impactos totales a nivel global son moderados para un calentamiento adicional entre 1 y 2 °C, lo que refleja tanto los impactos en la biodiversidad de la Tierra como en la economía general global (nivel de confianza medio). El riesgo de pérdida amplia de biodiversidad con destrucción conexa de bienes y servicios ecosistémicos es alto en caso de un calentamiento adicional de alrededor de 3 °C (nivel de confianza alto). Los daños económicos totales se aceleran con el aumento de la temperatura (con una evidencia limitada y un nivel de acuerdo alto), pero son pocas las estimaciones cuantitativas completadas para un calentamiento adicional de alrededor de 3 °C o superior (IPPC, 2014)

Según las proyecciones, ocurrirán con alta probabilidad más episodios meteorológicos extremos más severos y/o frecuentes, junto con otro tipo de peligros asociados con ellos, con lo que aumentarán las pérdidas económicas. Los sistemas de seguros encontrarán dificultades para ofrecer una cobertura asequible y aumentando al mismo tiempo el capital asignado a un mayor riesgo. Especialmente afectadas podrían ser las industrias, asentamientos y sociedades situadas en llanuras costeras y planicies propensas a las crecidas fluviales, así como aquellas cuya economía está estrechamente vinculada a recursos sensibles al clima, y otras ubicadas en áreas propensas a fenómenos meteorológicos extremos, especialmente allí donde los procesos de urbanización son rápidos.

Entre los sectores más sensibles destaca la agricultura al ser una de las actividades humanas más dependientes del clima (Iglesias et al., 2011), especialmente en aquellas zonas más sensibles, como las regiones áridas y semiáridas de tipo mediterráneo de Europa (Giorgi 2008), lo que podría intensificar las disparidades regionales entre los países Europeos (IPCC 2007). En estas zonas la producción agrícola es especialmente vulnerable debido a una alta proporción de suelos pobres con altos niveles de déficit de precipitación (Caraveli, 2000), que se deben compensar con aportes de agua suplementarios (González-Zeas et al, 2014). El riego constituye actualmente un 70 % de las extracciones de los recursos hídricos renovables, de los cuales el 50 % alcanza los cultivos y el resto se pierde en las infraestructuras de irrigación (Fischer et al., 2012). Como consecuencia del Cambio Climático, aumentarán las necesidades netas de riego (Döll et al., 2003) y la presión sobre los recursos hídricos, sobre todo en los periodos estivales (Bates et al., 2008), ya que la variabilidad de las precipitaciones disminuirán significativamente la disponibilidad de agua para riego. También el

crecimiento de la población y el crecimiento económico probablemente afectarán a la disponibilidad de los recursos hídricos (Rosenzweig et al., 2004), por lo que el estudio de la futura disponibilidad será esencial para la planificación hídrica y agraria (Garrote et al., 2015).

La cantidad de agua que se necesita para un cultivo depende de las condiciones del suelo, de la variedad del cultivo, del método de cultivo y de las condiciones climáticas. En el futuro por tanto, cualquier cambio en la demanda de agua para irrigación en un contexto de Cambio Climático, estará determinado por los cambios en las variables físicas (precipitación y temperatura), pero también por cambios en las condiciones socioeconómicas (gestión agrícola, mercados, comercio o políticas), y tecnológicas (agrícolas e hidráulicas). No obstante, bajo políticas y tecnologías constantes, el Cambio Climático genera un incremento de las demandas para la agricultura (Iglesias et al., 2007).

Más específicamente en el viñedo, las alteraciones provocadas por el Cambio Climático 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 (Santos et al., 2012). 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. Todos estos efectos potenciales se resumen en la Tabla 4.

Unas temperaturas más cálidas al inicio del periodo vegetativo llevarían a un aumento más rápido y temprano de superficie foliar con un efecto positivo sobre la acumulación de biomasa. No obstante si el aumento de la temperatura fuese excesivo, podría acortar la duración del periodo de crecimiento, haciendo que la vid experimentase cambios fenológicos más rápidamente (Jones, 2007; Ramos et al., 2008) en las zonas de cultivo actuales y en particular, la duración de la maduración. Este hecho podría causar un cambio en el desarrollo, de modo que las mismas fases de crecimiento se producirían en regímenes de radiación distintos al tradicional. En el caso de que se superasen los umbrales ideales de una variedad, el periodo de maduración coincidiría con un período de radiación excesivamente alto, lo que tendría efectos negativos en la calidad (Bindi et al., 1996) al ocasionar un exceso de madurez y de azúcares en la uva. También habría que tener en cuenta un calentamiento asimétrico día-noche: un descenso del diferencial de temperaturas acortaría la maduración y podría llegar a disminuir la calidad de la uva.

Un aumento en de los extremos de temperatura también provocarían una mortalidad alta a través de abscisión uva (Mullins et al., 1992), lo que aumentaría de la variabilidad del rendimiento. Por el contrario, la disminución en la frecuencia de heladas en primavera aumentaría el rendimiento. la disminución en la frecuencia de heladas en otoño en las zonas demasiado frías, aumentaría la duración de la estación de crecimiento (Myneni, 1997).

El descenso de las precipitaciones implicaría un descenso en el rendimiento en las plantaciones en secano en las zonas más secas. No obstante, en las regiones con los veranos más húmedos podría dar lugar a un incremento de la calidad, ya que para obtener uvas rojas de alto potencial cualitativo es necesario un moderado estrés hídrico (Van Leeuwen et al., 2004). En general, el aumento de la temperatura en combinación con una posible disminución de las precipitaciones, ocasionaría un aumento de la necesidad de aportes de agua en los años más secos, sobre todo en las

zonas más secas y cálidas. La posibilidad de aumentos en la superficie regada, en el caso de haber agua disponible, también estaría determinada por consideraciones económicas y sociales.

Tabla 4. Efectos potenciales del Cambio Climático en la viticultura (Resco et al., 2014)

Factor de cambio	Posibles beneficios	Posibles efectos negativos
Aumento de temperaturas	Periodos 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 desarrollo vegetativo. Mayor riesgo de incendios. Aumento de plagas y enfermedades Aumento variabilidad rendimiento.
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 de lluvias intensas o tormentas		Aumento de la erosión. Mayor riesgo de enfermedades. Daños en las plantas por inundaciones o pedriscos.
Aumento de gases de efecto invernadero	Incremento de producción biomasa.	Aumento de la variabilidad de la producción en respuesta a mayor variabilidad del clima.

El aumento de las temperaturas también aceleraría el ciclo de la planta pudiendo coincidir las lluvias primaverales con la floración y el desarrollo del fruto lo que perjudicaría un proceso que necesita ambientes más secos. Además, altas temperaturas primaverales con gran disponibilidad de agua en el suelo podrían hacer que la planta privilegie el desarrollo vegetativo frente a la producción de uva. Este exceso de humedad también podría aumentar el riesgo de brotes de enfermedades por hongos o transmitidas por insectos.

El aumento de la concentración de CO_2 podría resultar en una mayor acumulación de fruta y de la biomasa total, que estimula la fotosíntesis y el crecimiento (Rogers, 1993). Hasta ahora se han realizado pocos estudios en campo que cuantifique la respuesta de la vid este aumento del CO_2; (Bindi et al., 2001), pero estos en general, concluyeron que el doblar los niveles de CO_2 en la atmósfera daría lugar a un fuerte aumento del rendimiento sin tener ninguna repercusión negativa o positiva en las uvas en la etapa de madurez. Es estudios posteriores aseguran que incrementos

modestos de la concentración de CO_2 también tendrían un notable impacto positivo sobre la tasa de fotosíntesis y sobre los rendimientos finales (Gonçalves et al., 2009).

En general, estas simulaciones no dan una respuesta concluyente a la pregunta de si los posibles efectos negativos de las temperaturas más cálidas serían compensados por los efectos positivos del aumento de la concentración de CO_2 de forma global. Lo que parecen indicar es que el solapamiento de estos dos fenómenos, y teniendo en cuenta el incremento de la variabilidad del clima, también aumentará aún más la variabilidad interanual de los rendimientos, aunque sin garantizar la calidad del vino en los años buenos ni satisfacer la demanda de vino en los años malos, lo que implica un mayor riesgo económico para los productores (Moutinho-Pereira et al., 2009).

Como efectos indirectos en un escenario de calentamiento global y de aumento de la sequía estival, cabe esperar una degradación de la cubierta vegetal y un aumento de la frecuencia de los incendios forestales. Estos incendios a parte de la pérdida biológica y del ecosistema también podría afectar a la propia calidad de los vinos (De Orduna, 2010). Estas condiciones pueden representar un aumento de la frecuencia y severidad de las crecidas y de los fenómenos de erosión de los suelos en cuencas de pequeño tamaño (Moreno et al., 2005).

Como efecto indirecto también se pueden incluir las modificaciones en el comportamiento de plagas y enfermedades que afectan a los cultivos. Unos inviernos más suaves favorecerían claramente el desarrollo de determinadas especies de plagas y enfermedades como la enfermedad de Pierce, causada por la *Xylella fastidiosa,* mientras que en otros casos, debido a la complejidad de factores los resultados no están tan claros. Es el caso de la flavescencia dorada causada por el *Scaphoideus titanus*, o la podredumbre causada por la *Botrytis cinérea (*De Orduna, 2010). También de forma general un cultivo debilitado por un esperado aumento de los eventos climáticos extremos, sería infectado más fácilmente por un hongo que en condiciones normales.

Por último otro efecto indirecto sería el descenso del consumo, ya que el aumento del consumo de bebidas frías carbonatadas, incluyendo la cerveza durante los periodos más cálidos es conocido (Lenten y Moosa, 1999).

La vulnerabilidad a estos impactos, que se define como el nivel al que un sistema es susceptible a los efectos adversos del cambio climático, dependerá del carácter, magnitud y velocidad de la variación climática al que se encuentra expuesto un sistema, su sensibilidad o grado en el cual ecosistema se ve afectado por el estrés climático y su capacidad de adaptación (IPPC, 2001). Los factores físicos y medioambientales determinan la exposición y la sensibilidad, mientras que los factores socioeconómicos determinan la capacidad de adaptación. Dentro de estos últimos tienen especial relevancia la ayuda externa, (Moss et al., 2001) o el grado en que una región o comunidad puede ser asistido en sus intentos de adaptarse a los cambios y que en el caso de Europa y la agricultura vienen definidas por la PAC.

INSTRUMENTOS PARA MEDIR EL IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Actualmente existen diversas bases de datos climáticos de alta resolución que recogen escenarios de Cambio Climático aptos para estudios de impacto para la Península Ibérica. Todos ellos abarcan un horizonte temporal que alcanza como mínimo el periodo 1951-2050 y que climáticamente pueden considerarse a medio plazo. Debido a que el retorno de las inversiones en el viñedo para las nuevas plantaciones puede tardar de 15 a 30 años para amortizar la inversión completamente (Lobell et al., 2008), éste se considera el periodo más apto para un estudio de adaptación.

Las bases de datos disponibles se basan en un conjunto multi-modelo de simulaciones utilizando Modelos Climáticos Globales (MCG), que poseen una resolución espacial insuficiente para representar el clima a escala regional. Para mejorar su resolución se utilizaron técnicas de regionalización dinámica consistente en aplicar distintos Modelos Climáticos Regionales (MCR), para realizar proyecciones de Cambio Climático en escalas de decenas de kilómetros de forma físicamente consistente.

En España, el proyecto ESCENA se ha desarrollado más específicamente para su territorio (Jiménez-Guerrero et al., 2013), con un dominio de simulación centrado sobre la Península Ibérica (Fernández et al., 2007) que refleja mejor las condiciones climáticas de la Península y un horizonte temporal hasta 2050. El proyecto ESCENA desarrolla 19 escenarios de Cambio Climático construidos a partir de resultados de los modelos de simulaciones con los MCG. Cubre tres escenarios de emisiones (A1B, A2 y B1) y tres modelos globales diferentes (ECHAM5, HadCM3 y Arpege), regionalizados por 4 modelos regionales distintos (PROMES, WRF, MM5 y REMO) para el periodo 1951-2050 y a partir de los cuales se obtienen una serie de variables.

ÍNDICES DE RIESGO DE EXTREMOS CLIMÁTICOS

Todas las proyecciones sobre Cambio Climático indican cambios asimétricos en las variables climáticas y especialmente en los valores extremos con alto grado de certidumbre (IPPC, 2014). De especial relevancia para el viñedo serían las olas de calor y las heladas. Por ello es conveniente estudiar los cambios en la frecuencia de estos eventos climáticos adversos asociados a riesgos para la calidad y a la productividad en la viticultura.

OLAS DE CALOR

Para obtener una calidad adecuada la temperatura media anual óptima debe de estar entre los 11 °C y los 18 °C. No obstante, las temperaturas por encima de los 40 °C aumentan el riesgo de desecaciones en hojas y frutos, mientras que las temperaturas máximas de más de 35 °C de forma continua reducen los contenidos en antocianos y por tanto la calidad (Mori et al., 2007).

En consecuencia, para estimar los efectos del Cambio Climático se han utilizado tres índices a la hora de evaluar el impacto del aumento de temperaturas extremas. Por un lado, el aumento en la frecuencia de días cálidos (con Tmax > 35 °C), a los que iría asociado una posible pérdida de calidad, el aumento de días muy cálidos (con Tmax > 40 °C), asociados a graves pérdidas de calidad y el aumento del número de años con al menos un día muy cálido.

HELADAS

El calentamiento producido por el Cambio Climático es previsible que reduzca el número y la intensidad de las heladas. A la hora de calcular los efectos del Cambio Climático sobre las temperaturas mínimas en la viticultura hay que tener en cuenta dos aspectos: las heladas primaverales y la calidad del reposo invernal. Debido a que cada variedad tiene sus propios requerimientos térmicos, lo que hace muy difícil encontrar un indicador de brotación o de necesidades de frío, a la hora de estudiar la influencia de estos factores se usan dos índices genéricos. Estos índices son el de cambios en la fecha de última helada y el del número de heladas respectivamente.

ÍNDICES CLIMÁTICOS DE PRODUCCIÓN Y CALIDAD

En los últimos años el estudio de la zonificación vitícola ha adquirido más importancia como método para delimitar el potencial climático para la viticultura en una determinada región. Dentro de esta zonificación, los índices agroclimáticos son muy útiles para medir la influencia del clima en el desarrollo de la vid y la maduración de la uva y ayudar a una correcta elección de la variedad para cada zona. En la literatura científica y técnica, los índices que más se utilizan para la caracterización o zonificación climática de medios vitivinícolas son relativamente sencillos. Los conceptos más usados son: las temperaturas extremas (temperaturas bajo cero en partes vegetativas, leñosas y yemas así como temperaturas muy altas), las temperaturas acumuladas, el balance hídrico y las temperaturas mínimas y/o amplitudes térmicas en período de maduración de la uva. Dependiendo de los objetivos de la zonificación, puede ser conveniente centrarse en un enfoque multicriterio mediante la combinación de los índices que proporcionan información complementaria.

Los índices agroclimáticos dentro de la Clasificación Climática Multicriterio de Geoviticultura (CCMG) permiten estimar el futuro impacto en las regiones vitivinícolas sobre la calidad del vino (Tonietto y Carbonneau 2004; Moriondo et al., 2013). Este sistema utiliza tres índices: el índice de Huglin, el índice de Frescor Nocturno y el índice de Sequía. A continuación se describen cada uno de estos índices con las clases en los que divide el clima para el viñedo, en la Tabla 5 se encuentran de forma más esquemática junto con las fórmulas que definen cada uno de los índices.

ÍNDICE DE HUGLIN

El índice de Huglin muestra una buena relación entre las zonas con el potencial de azúcares de la uva, ya que la fenología de la vid puede ser trazada como la suma de las temperaturas activas, lo que ha permitido la división en zonas que representan correctamente las diversas calidades de la uva y algunas de las características del vino como resultado de la influencia climática. Las características teóricas para cada clase de índice de Huglin son las siguientes:

- HI – 3 o clase de clima muy fresco, incluye todas las regiones que se encuentran en el límite térmico inferior de la vid; en estas condiciones heliotérmicas sólo las variedades tempranas o muy tempranas pueden alcanzar la madurez, especialmente las variedades blancas. En condiciones de invierno muy frío, ciertas regiones utilizan híbridos inter específicos o *Vitis* americana que son más resistentes que *Vitis vinifera*.
- HI – 2 o la clase de clima fresco, donde el potencial heliotérmico permite una muy amplia gama de variedades de uvas, blancas o tintas, incluyendo, ej. Riesling, Pinot Noir, Chardonnay, Merlot, Cabernet Franc.
- HI – 1 o clase de clima templado, en el que las variedades más tardías, como la Cabernet-Sauvignon, Ugni Blanc y Syrah pueden alcanzar igualmente la madurez.
- HI + 1 o clase de clima templado cálido, donde incluso las variedades más tardías como Garnacha, Monastrell, Carignan puede madurar. No hay restricciones heliotermicas para que maduren todas las variedades (salvo algunas excepciones como las variedades sin semillas).
- HI + 2 o clase de clima cálido, que se caracteriza por un potencial que supera las necesidades heliotérmicas necesarias para que madure cualquier variedad, incluso las tardías (con algunos riesgos asociados de estrés).
- HI + 3 o clase de clima muy cálido, donde además del hecho de que no hay ninguna restricción del número de grados día para que las uvas maduren, puede ocurrir que debido que puedan darse climas de la zona intertropical, en algunos casos, podría tenerse más de un la cosecha de un año.

ÍNDICE DE FRESCOR NOCTURNO

Con el índice de Frescor Nocturno se pretende poner de relieve la importancia de las diferencias de temperatura entre noche y día para la maduración. Es muy importante para una buena calidad contar en el periodo de maduración con días cálidos, que favorezcan la maduración, y con noches frías que impidan que esta se acelere demasiado y permita un buen equilibrio en los componentes de la uva.

En general, se podría decir que con una temperatura nocturna cálida de maduración, se puede observar una pérdida de aromas. Las variedades tintas también están en riesgo de perder color. Por el contrario, temperaturas nocturnas frescas en la maduración son esencialmente favorables a los colores de uva y aromas.

Con noches muy frescas, las uvas podrían encontrarse con un alto potencial de color y aromas, si se aseguran las condiciones para una maduración completa, especialmente la condición heliotérmica (la mayoría de las regiones productoras de vinos blancos de buena reputación están en esta clase de clima vitícola).

Las características teóricas para cada clase de índice de Frescor Nocturno son:

- CI - 2 o clase de clima con noches cálidas, donde el cultivo de la vid se somete a un período de maduración de la uva con las altas temperaturas nocturnas, que puede afectar al color de la baya y potencial aromático.
- CI - 1 o clase de clima con noches templadas, en el que existe una condición intermedia entre climas vitícolas noches frescas y noches cálidas. Las variedades más tardías madurarán en condiciones de temperatura noche más bajas que las variedades tempranas.
- CI + 1 o clase de clima con noches frescas, donde la maduración se produce en condiciones que pueden ser más o menos frescas, dependiendo de si son variedades tempranas o tardías. En general, las condiciones son más frías que en la clase de CI-1, por lo que un umbral máximo de temperatura nocturna favorable para la maduración excedería el de cualquier variedad.
- CI + 2 o clase de clima con noches muy frescas, donde las temperaturas nocturnas son bajas y el efecto positivo de estas temperaturas depende, sobre todo, en un potencial heliotérmico que pudiera garantizar un buen nivel de maduración de la uva para una variedad determinada.

ÍNDICE DE SEQUÍA

Por último el índice de Sequía permite la caracterización del componente hídrico del clima en una región. Ese factor climático es importante en cuanto al nivel de maduración de la uva y la calidad del vino. Las características teóricas para cada clase son:

- DI – 2 o clase de clima húmedo, que se corresponde con ausencia clara de sequía, por el alto nivel de disponibilidad de agua de equilibrio,; de hecho se produce una tendencia al exceso en relación con la calidad. Normalmente las mejores condiciones de maduración de la uva se encuentran en años menos húmedos.
- DI – 1 o clase de clima sub-húmedo, también identificado con una ausencia de sequía. No obstante se encuentran más próximas al valor de 50 mm, que sería un valor crítico que revela la introducción de un equilibrio sobre restricción mínima de humedad, un buen indicador del punto de cambio de la condición de la disponibilidad de agua en el suelo que caracteriza a las regiones con presencia o ausencia de sequía frecuente.
- DI + 1 o clima moderadamente seco, donde la vid se enfrentará a un cierto nivel de sequía. Esta situación, en la que existe una regulación estomática significativa de la planta, es generalmente favorable para la maduración y donde el riego se practica en ciertos casos.

- DI + 2 o clima seco, donde se producen efectos del estrés por sequía frecuentes. En la mayoría de los casos el riego se practica actualmente.
- DI + 3 o clima muy seco, y que aunque originalmente no se encuentra en Tonietto y Carbonneau (2004), puede ser importante para la Península Ibérica. Los niveles por debajo -200 mm caracterizan a las regiones con un alto déficit de agua disponible en el suelo; estas son las regiones donde el riego es obligatorio y hay un riesgo frecuente de estrés severo si el riego adecuado no se practica.

Tabla 5. Índices agroclimáticos usados en el Estudio (Tonnieto y Carbonneau, 2004)

Índices	Fórmula	Clases	Rango de valores
Índice Huglin o Heliotérmico (HI) Caracteriza la idoneidad en general del tipo de viticultura y de la variedades en particular en localizaciones concretas	$\sum_{1\ \text{Abril}}^{30\ \text{Sept}} \frac{[(T_{media} - 10) + (T_{max} - 10)]}{2} * d$ Donde, Tmedia es la temperatura media diaria y Tmax es la máxima de las temperaturas diarias y d es un factor dependiente de la latitud	Muy cálido	HI > 3000
		Cálido	2400 < HI ≤ 3000
		Templado cálido	2100 < HI ≤ 2400
		Templado	1800 < HI ≤ 2100
		Fresco	1500 < HI ≤ 1800
		Muy Fresco	HI ≤ 1500
Índice de Frescor Nocturno(CI) Caracteriza color y aromas de uvas	$CI = T_{min\ September}$ Donde, Tmin es la mínima diaria de las temperaturas en el mes de septiembre	Muy fresco	CI ≤ 12
		Fresco	12 < CI ≤ 14
		Templado	14 < CI ≤ 18
		cálido	CI > 18
Índice de Sequía (DI) Caracteriza el potencial de maduración y de calidad en base al contenido de agua del suelo	$DI = Wo + P - Tv - Es$ Donde, Wo es el potencial diario de evapotranspiración, P es precipitación diaria, *Tv* es potencial de traspiración y *Es* es evapotranspiración directa del suelo	Muy seco	DI ≤-200
		Seco	-200 < DI ≤ -100
		Moderadamente seco	-100 < DI ≤ 50
		Sub-húmedo	50 < DI ≤150
		Húmedo	DI > 150

RESULTADOS

EXTREMOS CLIMÁTICOS

El viñedo es un cultivo tradicional adaptado a las condiciones mediterráneas, de altas temperaturas y sequía. Los datos del seguro agrario indican que los riesgos que más preocupan al agricultor están más relacionados con el pedrisco y la helada, delante de otro tipo de riesgos como son la sequía o los golpes de calor. No obstante los efectos del Cambio Climático podría tener consecuencias sobre la frecuencia y características de las adversidad climáticas.

El Cambio Climático implica un aumento de las temperaturas asimétrico, con un mayor calentamiento para los extremos cálidos que se relaciona con el déficit de humedad del suelo en verano, pero con un menor enfriamiento en los meses más fríos (Van der Linden y Mitchell, 2009), es decir incrementos mayores en los extremos que en las medias (Frías et al., 2012). Esto en principio ocasionaría beneficios en cuanto a uno de los riesgos principales, la helada, aunque tambien un incremento de los daños en uno de los riesgos hasta ahora muy poco importante como son los golpes de calor y en las regiones más cálidas un descenso de la calidad del reposo invernal que puede afectar a la brotación de las yemas.

Aunque la helada invernal, siempre que no supere grandes temperaturas extremas, se entiende como algo positivo pues favorece una parada vegetativa de calidad, la helada primaveral es uno de los riesgos que más preocupa al agricultor en general y al viticultor en particular, aunque el riesgo venga descendiendo en los últimos años debido a las condiciones climáticas y a la forma de cultivo. En la Figura 4 se encuentra una descripción geográfica de la variación de las medias de todas las proyecciones obtenidas por Resco et al. (2015), donde se aprecia más claramente como son en general las zonas más frías las que demuestran un mayor descenso del número de heladas y adelanto de la fecha de última helada, frente a las que tienen una mayor influencia marítima. La poca variación que se experimenta en la cuenca mediterránea se debe a la baja presencia de heladas en estas zonas. En la Figura 5 se puede observar la variación de la fecha de última helada para las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000.

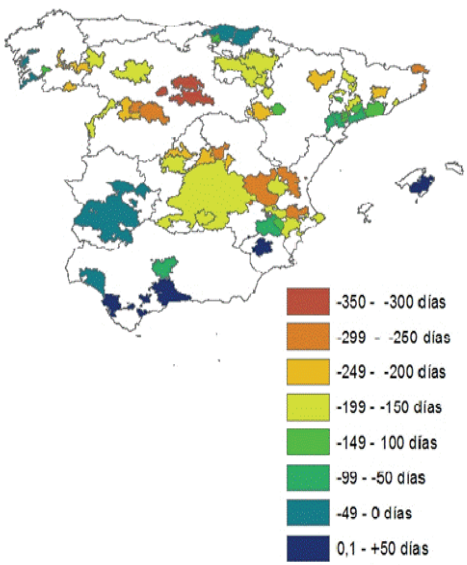
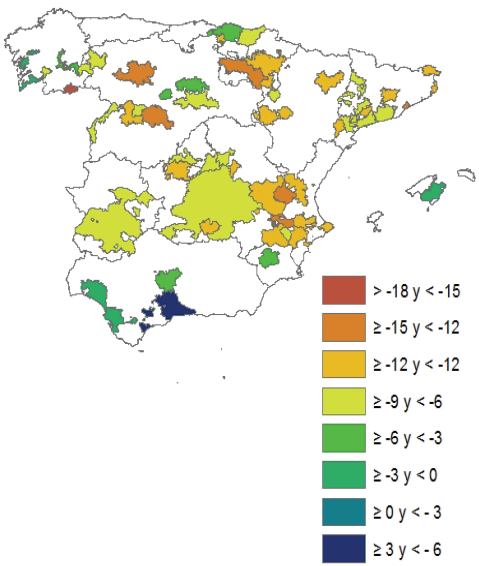


Figura 4. Variación del número de días con heladas para las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000 (Resco 2015).

Figura 5. Variación en días de la fecha de última helada para las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000 (Resco 2015).



En cuanto a las olas de calor se espera un incremento del número de días cálidos (con Tmax > 35 °C) y de días muy cálidos (Tmax > 40 °C) . Este incremento podría ir asociado a un mayor riesgo de pérdidas de calidad o de desecación de racimos y hojas. Las variaciones se darían de forma asimétrica incrementándose de forma más importante en aquellas zonas más continentales actualmente del centro sur peninsular. El incremento de días cálidos y muy cálidos podría superar los 20 días en el primer caso o los 10 en el segundo en DOP como La Mancha, Valdepeñas o Ribera del Guadiana, lo que perjudicar de forma importante el cultivo en estas zonas ya que la exposición a altas temperaturas podría llegar a ser continua a lo largo de los periodos estivales. En la mitad norte peninsular el incremento del número de días cálidos o muy cálidos, sería también elevado en las zonas más interiores del Valle del Duero y del Ebro con menor influencia marítima. Las altas temperaturas crecerían menos en aquellas zonas del norte peninsular con elevada influencia atlántica, salvo en la zona de Ribeiro por el microclima propio de la zona.

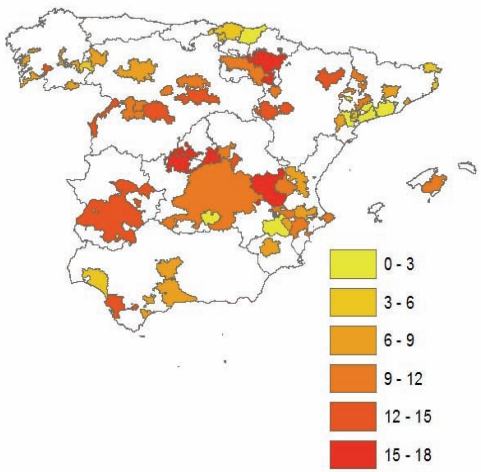


Figura 6. Variación en número de años con Tmax > 40°C para la media de las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000 (Resco 2015).

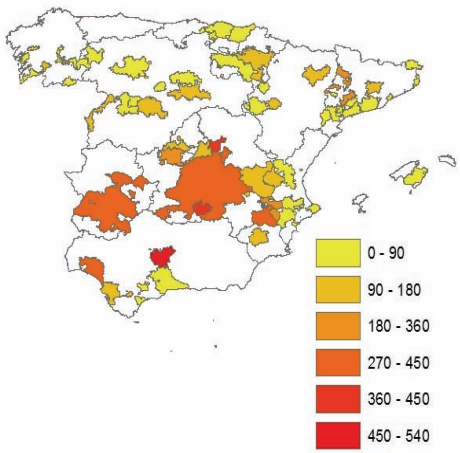


Figura 7. Variación en número de días con Tmax > 40 °C para la media de las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000 (Resco 2015).

ZONIFICACIÓN DEL TERRITORIO DE ACUERDO CON LA CALIDAD

CAMBIOS EN LOS VALORES MEDIOS DE LOS ÍNDICES

Los resultados extraídos de Resco (2015) y Resco et al. (2015), muestran unos resultados para el índice de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía (Figura 8). En cuanto al índice de Huglin, el resultado permite observar como las partes más cálidas, que se corresponden con la mitad sur peninsular irían paulatinamente cambiando hacia clases de climas muy cálidos, alcanzando para el periodo 2021-2050 prácticamente todo el valle del Guadalquivir, el valle del Guadiana en Badajoz, el valle del Tajo, además de Murcia y Alicante. En general esta situación se repetiría en las demás cuencas de los ríos aunque sin llegar a la clase de más cálida. Para este periodo se espera que toda zona de Castilla y León esté clasificada como templada o templada cálida, salvo las zonas más montañosas del norte y este de la Comunidad Autónoma. En el valle del Ebro, las clase de clima cálidas se extenderán aún más, pero sin llegar a clases de clima muy cálidas. También se producirían cambios hacia clases más cálidos en las zonas costeras siendo más claros estos en la zona costera de Pontevedra, Cataluña y Comunidad Valenciana, así como en las Islas Baleares. En general sólo las zonas muy montañosas o más frías y con fuerte influencia atlántica permanecerán con clases de clima frías o muy frías.

Con los resultados del índice de Frescor Nocturno, se puede observar como los viñedos ubicados en zonas con clases de clima más fríos quedan restringidas a las zonas montañosas del Sistema Central, Ibérico, Pirineos y la Cordillera Cantábrica con algún punto en el Sistema Bético, mientras que las localizadas en zonas más calurosas van ascendiendo desde la costa por los valles. Para el periodo 2021-2050 quedarían como zonas clasificadas como con noches cálidas prácticamente todas las localizadas en el valle del Guadalquivir y las de las zonas más costeras del arco mediterráneo, mientras que contarían con noches templadas el resto de las zonas costeras y la cuenca media de los ríos Ebro, Duero y Guadiana. El valle del Duero, la parte media del Miño-Sil, la Rioja, Álava y parte de Navarra aunque con noches más cálidas seguirían dentro de las clases con noche frescas.

Finalmente, con la proyección del índice de Sequía, se observa como las zonas más secas aumentarán para el periodo 2021-2050 llegando a clasificarse como seca o muy seca todo el sur peninsular y las cuencas baja y media del valle del Ebro. Incluso gran parte del valle del Duero podría para mediados del siglo XXI cambiar hacia climas secos, lo que indica el posible aumento de la demanda de agua para el regadío.

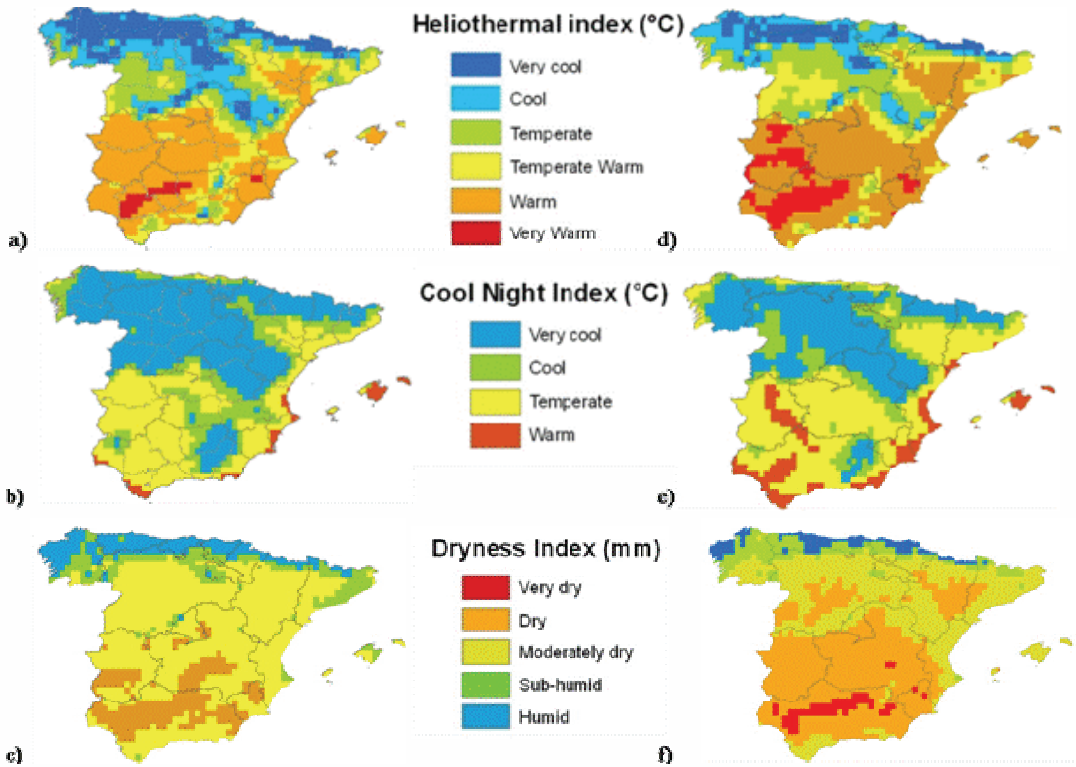


Figura 8. A la izquierda: clasificación climática del periodo pasado reciente (1971-2000) para el índice Huglin (a), Frescor Nocturno (b) y sequía (c). A la derecha: clasificación climática con resultados promedio para las proyecciones 2021-2050 índice Huglin (d), Frescor Nocturno (e) y sequía (f) (Resco 2015).

TERRITORIO AFECTADO POR LOS CAMBIOS EN LOS VALORES MEDIOS DE LOS ÍNDICES

Si se analiza de forma numérica como son los cambios de la superficie para cada una de las clases, las zonas con climas más fríos y húmedos descienden de forma importante como es el caso de las clases muy frías en Huglin (Figura 9) y la clase de noches muy frías (Figura 10). En ambos índices las clases más cálidas superarían el 50 % del territorio peninsular, lo que significa que en más del 50 % del territorio peninsular se excederían las necesidades térmicas para cultivar cualquier variedad, con riesgos de estrés térmico ocasionado por el calor y que potencialmente podrían darse problemas en el color y en aromas.

En cuanto a la sequía (Figura 11), las clases más secas ocuparían un 40 % de la superficie en el periodo 2021-2050, mientras que en periodo 1971-2000 ocupaban un 14 % de la superficie. Es en estas zonas donde el riego será más que recomendable para evitar problemas de estrés excesivo y evitar daños en la producción y en la calidad.

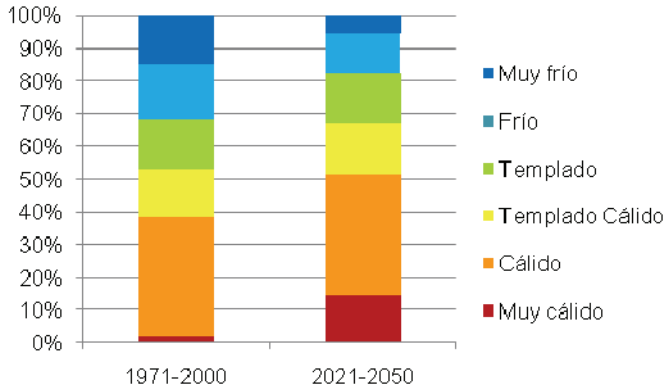


Figura 9. Cambios en el porcentaje de superficie de viñedo que corresponden a los distintos niveles de índice de Huglin en el periodo 1971-2000 y en el periodo de Cambio Climático 2021-2050 con la media de los 19 escenarios (Resco 2015).

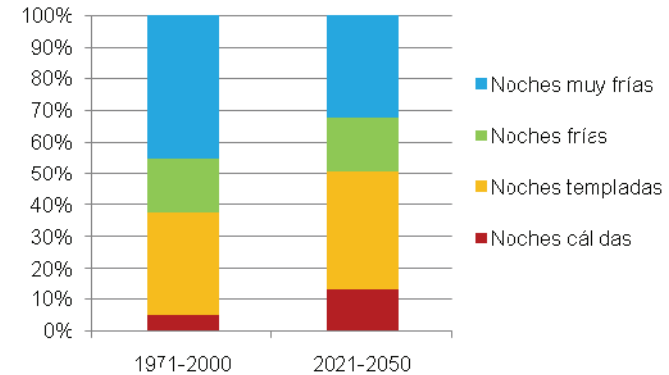


Figura 10. Cambios en el porcentaje de superficie de viñedo que corresponden a los distintos niveles de índice de Frescor Nocturno en el periodo 1971-2000 y en el periodo de Cambio Climático 2021-2050 con la media de los 19 escenarios (Resco 2015).

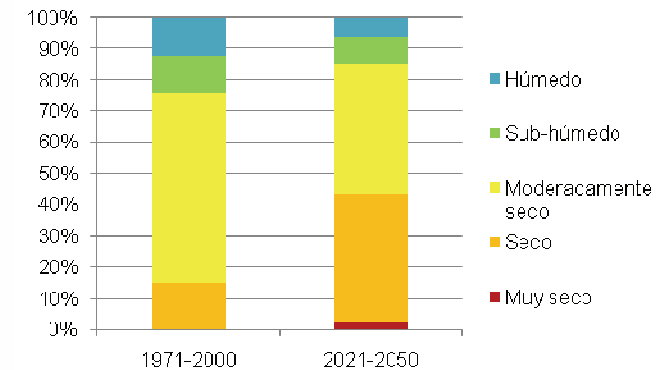


Figura 11. Cambios en el porcentaje de superficie de viñedo que corresponden a los distintos niveles de índice de Sequia en el periodo 1971-2000 y en el periodo de Cambio Climático 2021-2050 con la media de los 19 escenarios (Resco 2015).

CAMBIOS EN LAS ZONAS CON ALTO POTENCIAL CLIMÁTICO PARA LA VITICULTURA

Al analizar los índices conjuntamente, se pueden identificar las regiones que en principio podrían encajar en zonas con alto potencial de calidad para vinos tranquilos (para conseguir equilibrados y sin alto contenido alcohólico) así como determinar su variación. Así se podría calcular si existiese cierta compensación de pérdidas de zonas de alto potencial con nuevas áreas a más altitud o latitud. La evolución gráfica de esas zonas de elevado potencial se puede observar en la Figura 40, y se corresponde con aquellas en las que coinciden conjuntamente una serie de clases dentro de la clasificación multicriterio. Estas clases coinciden con:

Índice de Huglin: clases de clima muy fresco (HI-3), fresco (HI-2), templado (HI-1) y clase de clima templado cálido (HI+1).

Índice de Frescor Nocturno: clases de clima con noches frescas (CI+1) y muy frescas (CI+2).

Índice de Sequía: clases de clima sub-húmedo (DI-1) y moderadamente seco (D+1).

Según esta evolución, la superficie con mayor potencia vitivinícola únicamente atendiendo a estos criterios era en 1971-2000 de un 47 % de la superficie de España, dentro de la cual un 23 % se encontraba dentro de las DOP (un 11 % del total de la superficie total). En el periodo 2021-205 estas clases pasarán a ocupar un 36 %, dentro de las cuales las DOP representan un 19 % (un 7 % del total de la superficie), mayoritariamente en la mitad norte peninsular. Es decir se podría esperar una pérdida de zonas de más alto potencial que afectaría de una forma más intensa a las zonas actualmente dentro de las DOP.

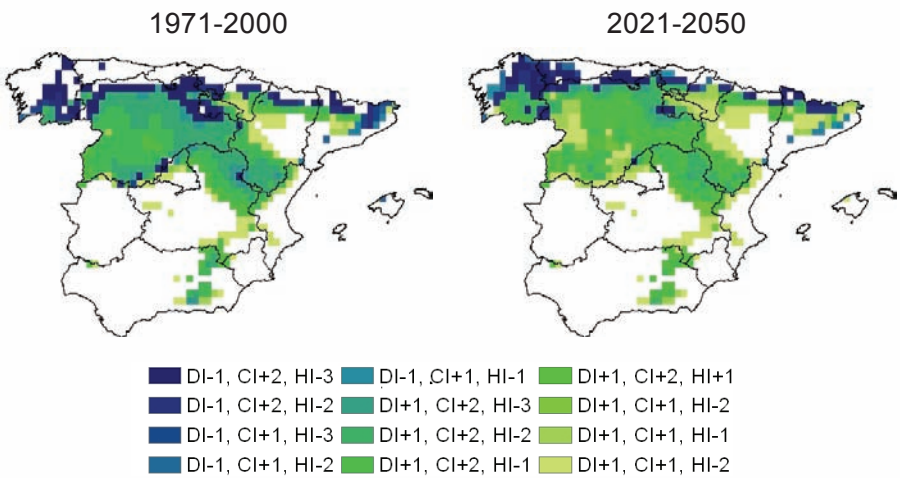


Figura 12. Variación de las zonas de alto potencial climático de calidad vitícola de acuerdo con los valores combinados de los índices de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía para la superficie de toda España entre los periodos 1971-2000 y 2021-2050 (Resco 2015).

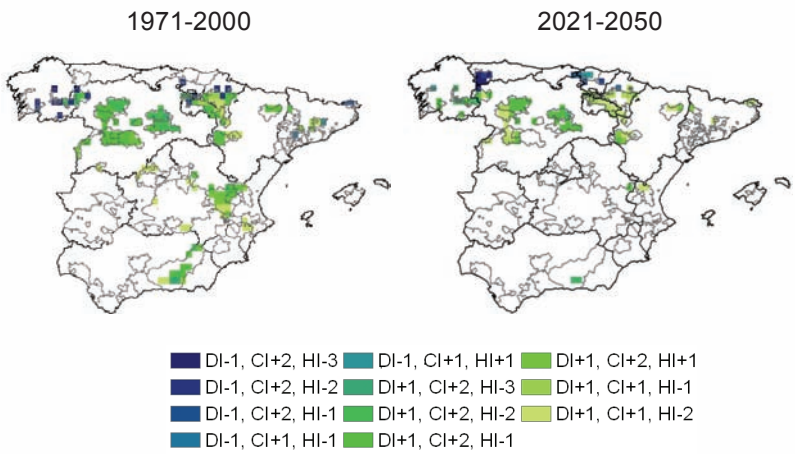


Figura 13. Variación de las zonas de alto potencial climático de calidad vitícola de acuerdo con los valores combinados de los índices de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía para la superficie incluida dentro de las DOP entre los periodos 1971-2000 y 2021-2050 (Resco 2015).

ZONAS CON BAJO POTENCIAL CLIMÁTICO PARA LA VITICULTURA

Por el contrario, para analizar las zonas que pueden presentar más problemas para alcanzar cierto equilibrio en los vinos tranquilos se han destacado aquellas zonas dentro de las DOP (Figura 42) que presentan al mismo tiempo alguna de las siguientes clases de clima según denominaciones que en principio podrían demostrar más dificultades:

Índice de Huglin: clases de clima cálido (HI+2) o muy cálido (HI+3)

Índice de Frescor Nocturno: o clase de clima con noches cálidas (CI-2) o noches templadas (CI-1)

Índice de Sequía: clima seco (DI+2) o muy seco (DI+3)

Así las zonas que en 2021-2050 se incluirán dentro de esta clasificación podrían ser: Terra alta, Uclés, Utiel-Requena, Valdepeñas, Valencia, Montilla-Moriles, Méntrida, Ribera del Júcar, Yecla, Bullas, Jumilla, Alicante, Somontano, Almansa, Huelva, Costers del Segre, Jeréz, Málaga, Ribera del Guadiana y Vinos de Madrid.

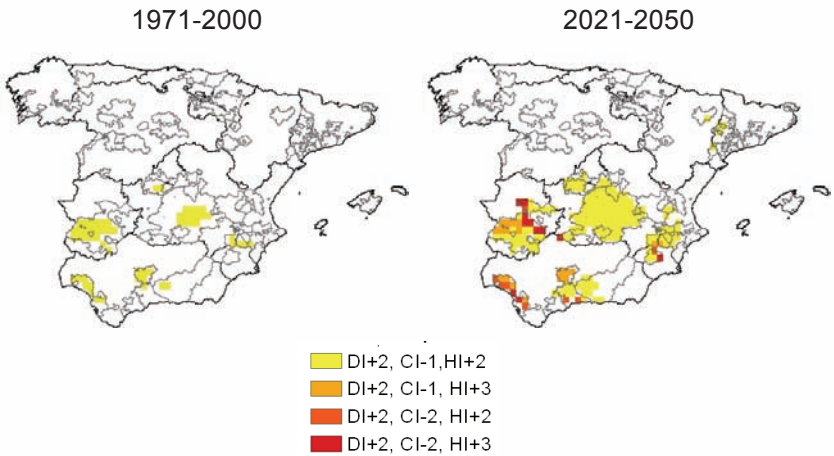


Figura 14. Variación de las zonas de bajo potencial climático de calidad vitícola de acuerdo con los valores combinados de los índices de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía para la superficie incluida dentro de las DOP entre los periodos 1971-2000 y 2021-2050 (Resco 2015).

En resumen, el incremento de las temperaturas en principio podría ocasionar un alargamiento del ciclo activo de la planta y una reducción del riesgo de heladas, lo que podría mejorar el rendimiento medio e incluso la calidad de la uva en aquellas zonas donde fuese habitual una alta acidez por falta de maduración. Aunque no se considera que la viña tenga un umbral de temperatura máxima para el periodo de crecimiento, si la temperatura fuese excesiva, se podría acortar la duración del periodo de crecimiento para las variedades presentes en las zonas de cultivo. Esto podría ocasionar que la vid pasase a través de sus eventos fenológicos más rápidamente (Jones, 2007), lo que tendría efectos negativos en la calidad si disminuyese la duración de la maduración (Bindi et al., 1996), al ocasionar un exceso de madurez y de azúcares en la uva. Unas temperaturas mínimas excesivamente altas durante el periodo de maduración podrían perjudicar este proceso. Además de una disminución de la calidad, los cambios en la variabilidad interanual y los extremos pueden aumentar la irregularidad de los rendimientos (Jones et al., 2005; Schultz, 2000) con efectos perjudiciales en el sector vitivinícola en su conjunto.

Esta información, junto con el estudio del comportamiento de los principales índices de zonificación vitivinícola, permite anticipar posibles riesgos de cara a los próximos años.

En general cabría esperar una disminución de las zonas climáticamente más idóneas para el cultivo, ya que la desaparición de zonas con una clasificación para el conjunto de índices sólo se vería parcialmente compensada por la aparición de nuevas zonas en toda la superficie de España como en la de las actuales DOP.

Los climas más cálidos actualmente para el viñedo se encuentran en el sur peninsular, en los valles del Tajo, Guadiana y sobre todo del Guadalquivir y costa del sudeste. Son precisamente en estas zonas del sur peninsular las que afrontarían los mayores impactos. El calentamiento global podría causar el que paulatinamente estos climas más calurosos asciendan en altitud extendiéndose hacia el interior, donde además se experimentaría un mayor incremento de

temperaturas a medida que la influencia marítima es menor. Esto, además de crear desfases entre el ciclo de las variedades y el clima, e incrementar las posibilidades de que se encuentren desequilibrios en la composición de la uva a causa de una mala maduración, podría limitar tanto las variedades que se pudieran cultivar, como la calidad de los vinos resultantes.

En otras zonas productoras, como el valle del Duero, valle del Ebro, Galicia y Cataluña, también se producirían calentamientos más intensos en las zonas más interiores y con mayor altitud,, si bien las condiciones de partida son diferentes ya que cuentan con temperaturas más frías a lo largo del ciclo. Además la intensidad del incremento sería menor, sobre todo en aquellas zonas con influencia más atlántica. Esto haría que en el norte de la Península los impactos en la viticultura fuesen más irregulares, pudiendo incluso llegar a ser beneficiosos en las zonas más frías por la disminución de las heladas, y que estos dependiesen mucho en una misma zona del tipo de variedad y del microclima del viñedo. En principio se podría afirmar que los impactos en el norte peninsular serían menores ya que la intensidad del cambio sería también menor.

En cuanto a las necesidades hídricas, se espera un gran incremento de estás por el aumento de la evapotranspiración y al descenso de las precipitaciones. Aunque en algunas zonas el descenso de la humedad podría disminuir el riesgo de ataques de enfermedades, en general supondría un gran problema a la hora de asegurar las necesidades hídricas mínimas del cultivo en los años más secos. Según las proyecciones climáticas se esperaría un incremento de los climas muy secos por todo el sur peninsular y por las cuencas baja y media de los ríos Duero y Ebro que incrementaría las necesidades hídricas del viñedo.

ANÁLISIS DE NECESIDADES DE ADAPTACIÓN

Los índices incluidos dentro de la Clasificación Climática Multicriterio (Índices de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía) están vinculados a las características específicas de las zonas de producción de acuerdo con su potencial vitivinícola. En base a los cambios esperables por el Cambio Climático y la metodología seguida por Resco et al 2015, se pueden clasificar la regiones según las necesidades de adaptación, basándose en la naturaleza de los cambios mostrados por los escenarios climáticos (ver Figura 15).

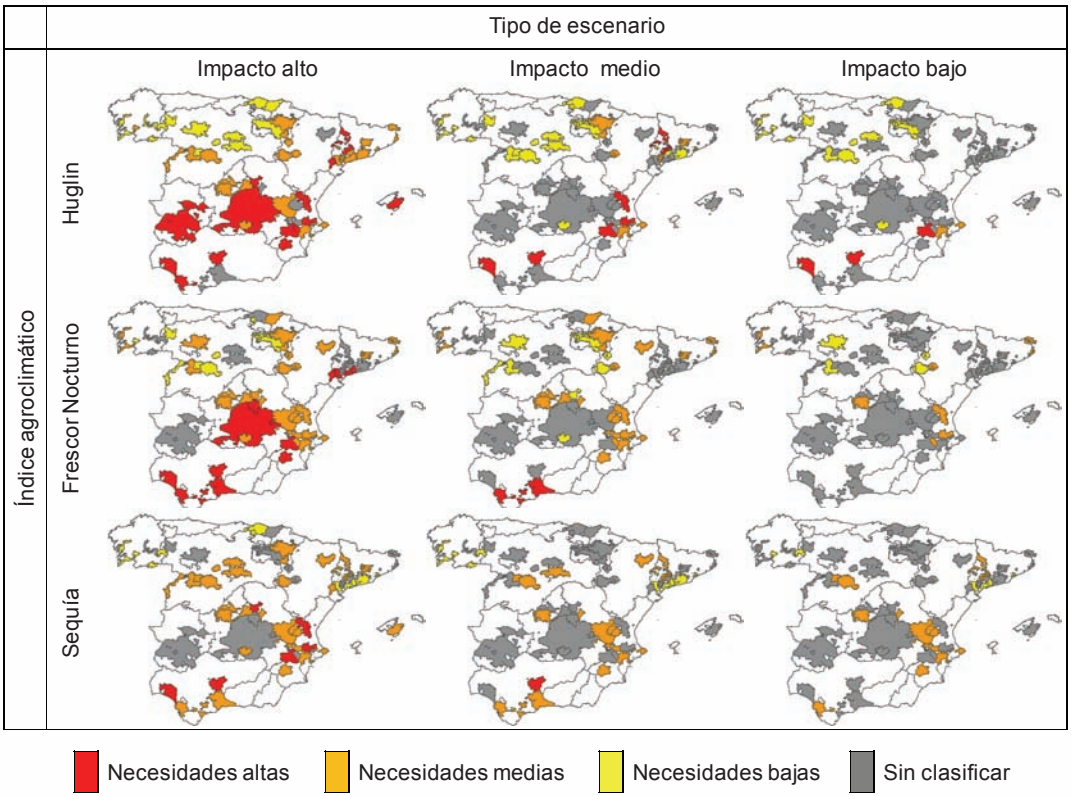


Figura 15. Evaluación del esfuerzo de adaptación necesario como resultado de los cambios proyectados por los escenarios de Cambio Climático en los índices de Huglin, Frescor Nocturno y de Sequía para tres escenarios con distintos niveles de impacto según los resultados del las 19 proyecciones. Los niveles se establecen en bajo (amarillo), medio (naranja) y alto (rojo), mientras que no se clasifican (gris) cuando no se produce un cambio en la clase de clima (Resco et al. 2015).

CORNISA CANTÁBRICA Y GALICIA

Según los resultados obtenidos, en general las DOP de esta Región presentan las necesidades más bajas de intervención de todas. Las proyecciones climáticas para la esta zona podrían reducir las limitaciones térmicas para que maduren un mayor número de variedades, especialmente tintas, en muchas de las DOP. Esto sería especialmente favorable si no se superan los límites de las variedades que se cultivan actualmente, como podría suceder en una de las más cálidas como

es la de Ribeiro. El aumento del periodo activo podría tener más consecuencias en aquellas DOP con cambios cualitativamente más importantes en la temperatura en la época de maduración. En las más costeras como Rías Baixas o Chacolí de Getaria, ya de por sí con contrastes térmicos más suaves, se podrían presentar algunos problemas con las temperaturas nocturnas en esta época, incluso en los mejores escenarios, y es ahí donde las necesidades de intervención deberían ser más altas. Estas temperaturas podrían sobrepasar ciertos niveles y por tanto afectar a la calidad de sus vinos. Aunque la incertidumbre respecto a la evolución del índice de Sequía es muy alta, en la mayoría de los casos se prevé que no haya cambios o que cuando los haya se reduzcan a unos niveles en los que se induzca un aumento de la calidad.

ZONA CENTRO: CASTILLA LA MANCHA Y LEÓN, EXTREMADURA Y MADRID

Esta zona se puede subdividir en dos subregiones de acuerdo con sus condiciones actuales: la zona sur con una mayoría de DOP con épocas activas de crecimiento cálidas y con noches templadas a frías en la época de maduración (como por ejemplo La Mancha, Valdepeñas o Ribera del Guadiana); y la zona norte con épocas activas de maduración frías o templadas, y noches frías en la época de maduración (donde estarían por ejemplo Ribera del Duero, Toro o Rueda). Los viñedos se extienden en esta zona entre los 200 m. y los 1000 m. de altitud aunque la mayoría de los viñedos se encuentran entre los 700-1000 m. En esta Región, la tendencia de crecimientos de índices térmicos es más elevada, por lo que es importante prestar más atención a los escenarios extremos de cara a las últimas décadas de la época de estudio. Así, aunque sólo en Valdepeñas parece que habría problemas con la superación de los umbrales térmicos en muchas de las variedades en las proyecciones medias, los resultados de los escenarios más pesimistas parecen indicar problemas en el resto de las DOP de la sub meseta sur, pero especialmente en La Mancha, Mondéjar y Ribera del Guadiana.

En la zona norte, sólo Rueda parecería poder experimentar más problemas, en escenarios más extremos. Con unos periodos activos más amplios, la fecha de maduración podría adelantarse en el tiempo, por lo que la evolución de los resultados del índice de Frescor Nocturno, que indica la temperatura en la época de maduración, podría ser peor que la reflejada. Esto sería de especial importancia en la zona sur de la Región II como Madrid, Méntrida, Uclés y Valdepeñas, que destacan debido a los mayores cambios esperados incluso en las proyecciones más optimistas o medias. Según los resultados de este indicador, es especialmente importante los problemas que puede experimentar La Mancha o Ribera del Guadiana en proyecciones más cálidas, donde se alcanzarían temperaturas que podrían perjudicar la calidad significativamente en las últimas décadas de estudio.

Respecto a la sequía, se prevén cambios significativos en las Denominaciones de Rueda, Toro, Méntrida, Manchuela y Uclés incluso en las proyecciones más húmedas, o Ribera del Duero o en la media de los escenarios, lo que indica el posible aumento de las necesidades hídricas de forma importante. Aunque la progresión del índice de Sequía no es tan alta como en la Región I, las condiciones de partida más secas y la tendencia al crecimiento en las últimas décadas

harían necesario un incremento de las necesidades de regadío ya sea de forma puntual o de forma permanente para ambas subregiones para asegurar la calidad del cultivo.

ZONA NORESTE Y VALLE DEL EBRO

Esta zona agrupa las DOP del noreste peninsular, que se sitúan actualmente desde los 200 m a los 800 m. A pesar de que se extienden desde climas fríos a cálidos, no existen grandes diferencias en cuanto a los niveles de calentamiento que experimentarían según las proyecciones climáticas, por lo que las DOP más cálidas serán las que se consideren más sensibles, en cuanto pueden requerir mayores esfuerzos en la adaptación. En este sentido las DOP de Terra Alta, Tarragona o Costers del Segre podrían ser especialmente sensibles sobre todo al final del periodo. Prácticamente todas las zonas podrían experimentar problemas con el aumento de las temperaturas, ya sea porque se excedan las necesidades heliotérmicas de las variedades actuales (como por ejemplo Alella, Cariñena, Navarra, Pla de Bages, Priorat, pero principalmente Costers del Segre) o porque se alcancen temperaturas demasiado altas en el periodo de maduración. En este último caso, destacan Ampurdán y Cariñena en primer lugar o Montsant, Navarra, Pla de Bages y Somontano en segundo lugar.

Si se analizan conjuntamente ambos índices, el adelanto de la fecha de maduración puede acarrear problemas con la calidad en la mayoría de las zonas exceptuando en principio Penedés, Rioja y Priorat. En el caso de Rioja donde confluyen las influencias atlánticas y mediterráneas, los resultados son más complejos. El calentamiento allí podría tener influencias positivas siempre que no se superasen las necesidades heliotérmicas de las variedades actuales, no obstante habría que tener especial cuidado con la temperatura en la época de maduración en previsión de un posible adelanto del ciclo.

Respecto a las necesidades hídricas, sólo Costers del Segre y Somontano parecen indicar un aumento de las necesidades de riego en escenarios más frescos y húmedos. No obstante el empeoramiento de las condiciones que se espera al final del periodo junto con los resultados de las peores proyecciones parece indicar que el riego podría ser un factor importante de cara al futuro.

LEVANTE, MURCIA Y ANDALUCÍA

Esta zona se extiende desde el Levante hasta la costa sur atlántica española y agrupa unos viñedos que ocupan altitudes entre los 20 y los 900 m. Incluye las DOP más cálidas (como por ejemplo Montilla o Condado de Huelva) y las más secas. En esta Región se combinan la producción de vinos generosos como el del Marco Jerez en Cádiz o Montilla-Moriles en Córdoba, favorecida por las altas temperaturas, con vinos tranquilos. En toda la zona la tendencia de calentamiento es alta, a lo que hay que sumar su condición de partida también alta. Por ello se llegan a producir cambios en la zonificación importantes incluso en las proyecciones climáticas menos severas, como es el caso de Jumilla, Huelva y Montilla restringiendo aún más variedades y dificultando la elaboración de vinos tranquilos. Los resultados de las

proyecciones más cálidas unidas al incremento de la tendencia de calentamiento en las últimas decenas en todas las proyecciones, indican que para el final del periodo, los umbrales de temperatura para algunas variedades se podrían haber superado en la mayoría de las Denominaciones. Lo mismo se podría decir con las temperaturas de maduración, que podrían rebasar los óptimos y tener efectos sobre la calidad.

En cuanto a la sequía, las necesidades de agua aumentarán de manera previsible en todas las DOP haciendo necesario e incluso obligatorio el riego del viñedo para la consecución de una uva de calidad, así como para prevenir episodios de estrés térmico y sequía extrema. Por todo ello, los esfuerzos de adaptación que requeriría la viticultura en esta Región serían comparativamente mayores que en el resto, ya que por un lado los impactos estarían entre los más altos y las herramientas serían de las más limitadas.

ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN EN LA VITICULTURA

Las respuestas de adaptación frente al Cambio Climático en viticultura pueden variar desde aquellas que se pongan en marcha a nivel de bodega, que pueden ser relativamente fáciles, baratas e inmediatas, pero que proporcionan un bajo potencial de adaptación; o aquellas a nivel del viñedo, que pueden resultar más caras y pueden llegar a plantear más dificultades, pero que a la vez tienen un potencial de adaptación más alto (Nicholas y Durham 2012). Aunque existen muchas tipologías para clasificar Los distintos factores de tipo ambiental, climático, socioeconómicos y de explotación interrelacionan junto con los de la propia explotación de múltiples formas afectando a parámetros como son la calidad, la productividad, el precio o la renta que reciben los agricultores. El Cambio Climático es un elemento que puede modificar muchos de los equilibrios que existen actualmente. La vulnerabilidad de la viticultura al Cambio Climático en España estará definida por la exposición y la sensibilidad a estos factores junto con la capacidad de adaptación, definida por las distintas herramientas que pueda adoptar para mantener o mejorar la situación del sector en cada una de las regiones o explotaciones. Las acciones de adaptación Iglesias et al. (2012) las clasifican en técnicas, de gestión e infraestructurales, resultando útil para establecer algunos de los instrumentos disponibles.

Para enfrentarse a estos impactos sería necesario 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 sería 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 medidas de adaptación a corto plazo pueden ser consideradas como la primera estrategia de protección contra el Cambio Climático y deberán centrarse en amenazas específicas, con el objetivo de optimizar la producción. Estas medidas en su mayoría son paliativas de posibles efectos adversos del Cambio Climático, como son los cambios en las prácticas enológicas (Lobell et al., 2006), que buscan mejorar la calidad del vino y disminuir por ejemplo los efectos del incremento de la variabilidad interanual, o el aumento de la contratación del seguro agrario.

A medio plazo, las medidas 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 estrategias de cultivo del viñedo deben de ir dirigidas a atenuar tanto los efectos de la radiación y de las altas temperaturas en hojas y racimos, como los del déficit hídrico y las consecuencias negativas del mismo.

Las prácticas de cultivo pueden influir en la adaptación de diversas formas. Por ejemplo, el manejo del suelo y el desarrollo de cubiertas vegetales o laboreos mínimos no sólo son los más adecuados para evitar erosión ante lluvias fuertes (Kroodsma y Field, 2006), sino que también pueden ayudar a disminuir la radiación de calor del suelo. Pero la cubierta implica un mayor consumo de agua, lo que puede ser un gran inconveniente en zonas áridas. Sin embargo una cobertura del suelo con *mulching* de paja (Judit et al., 2011) o la mejora del nivel de materia orgánica del suelo puede tener efectos positivos sobre el contenido en agua del suelo. Por otro lado, cambios en los sistemas de poda, de alineación hacia orientaciones este-oeste o el uso de mallas de sombreo pueden ayudar a mejorar la protección de los racimos contras la insolación excesiva. Una forma importante de adaptación frente al estrés térmico sería el usar sistemas de conducción más libres a frente a sistemas conducción vertical y alineada tipo espaldera, que tanto se ha extendido en los últimos años. Por ejemplo, los sistemas con vasos abiertos o los sistemas desparramados como el tipo *sprawl,* evitan una excesiva exposición y reducen el riesgo de sobremaduración (Palliotti 2014). Aunque los sistemas en vaso plantean problemas en la mecanización, lo que sería una gran desventaja económica, los segundos sí permitirían una mecanización que ayudaría a controlar los costes.

El riego sería otra estrategia fundamental que forma parte de la gestión del viñedo, no sólo contra el riesgo de sequía sino para evitar también daños por olas de calor (Webb et al., 2009). Para mejorar la gestión, debería establecerse con métodos y controles para disminuir el consumo de agua y asegurar una buena calidad de la cosecha, como por ejemplo con estrategias de riego deficitario, desecación parcial de raíces o riego con déficit sostenido, y ayudados por indicadores del estado hídrico a nivel del suelo y de la planta (ej. Cifre et al., 2005; Fereres et al., 2006; Marsal et al., 2008; Martínez-Santos et al., 2008; Sanchez et al., 2010). Una gestión sostenible del agua 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, 2011). Aún así, esta estrategia presenta problemas puesto que la disponibilidad de agua para riego es cuestionable debido a la hidrogeología, a la competencia entre usuarios y a la propia aplicación de la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE). Esto dificulta no sólo el futuro de los regadíos existentes, sino que limita la posibilidad de incrementar la superficie regada, por consideraciones económicas, sociales y medioambientales.

Más a largo plazo, las medidas de adaptación incluyen principalmente la elección de variedades y portainjertos o cambios de ubicación de los viñedos, aunque estas medidas plantean problemas de inversión a los bodegueros y viticultores además de problemas normativos con las DOP. Las variedades deberán estar bien adaptadas a excesos de insolación y temperatura y, a ser posible, a la sequía, buscando material vegetal con ciclos más largos. Cambios a sitios más frescos, a altitudes más altas y latitudes mayores implican cambios en las condiciones del viñedo, por lo que las plantaciones en las zonas cálidas, estarían más convenientemente situadas 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 (Sotés 2011).

La investigación de nuevas técnicas enológicas, de gestión del viñedo o de combinación de variedades/patrones es otra de las oportunidades que existe para mejorar la adaptación al Cambio Climático. En este caso el coste y el horizonte temporal variarán en función del objeto de investigación y de las técnicas usadas.

CONCLUSIONES

El incremento de las temperaturas medias podría ocasionar un alargamiento del ciclo activo de la planta e incluso una mejora de la calidad de la uva en aquellas zonas donde fuese habitual una alta acidez por falta de maduración. No obstante, aunque la viña no se considera que tenga un umbral térmico máximo, si éste fuese excesivo se podría acortar la duración del periodo de crecimiento para las variedades presentes en las zonas de cultivo, haciendo que la vid adelante sus etapas fenológicas más rápidamente, sobre todo en lo que se refiere a la maduración. Unas temperaturas excesivamente altas en la época de maduración tendrían efectos negativos en la calidad al ocasionar un exceso de madurez y de azúcares en la uva. Por otro lado, el aumento de las temperaturas extremas podría por un lado, provocar el descenso del número y de la intensidad de las heladas, lo que podría mejorar el rendimiento medio, pero también podría ocasionar un incremento de las pérdidas de calidad y de rendimiento por golpes de calor.

Cambios en las condiciones de humedad hacia climas más secos podrían tener también efectos muy diferentes. En regiones excesivamente húmedas podría incrementar la calidad de la producción, ya que un estrés hídrico moderado conduce a una importante calidad de la uva. Por el contrario, en regiones más secas aumentaría la necesidad hídrica del cultivo hasta el punto de hacer necesario el riego del cultivo.

El uso de índices dentro de estudios de zonificación del potencial climático para la viticultura, basados en las condiciones climáticas a lo largo del ciclo de cultivo, permite analizar posibles riesgos para la producción de uva de vinificación y son herramientas usadas frecuentemente en análisis de impactos del Cambio Climático.

En general los cambios que se producirían en las variables climáticas están sujetos a grandes incertidumbres por las diferencias entre las distintas proyecciones climáticas. A pesar de ello, los resultados obtenidos en base al estudio del potencial climático para la viticultura indican que el Cambio Climático produciría incrementos en la variabilidad interanual de este potencial que pueden aumentar la irregularidad de la producción y de la calidad obtenida. En segundo lugar, la variabilidad y la incertidumbre de estos cambios son mayores en aquellas zonas con mayores impactos en el potencial vitícola. Por último existe una tendencia clara hacia climas más cálidos y secos y que se irá acelerando a medida que avance siglo XXI.

De la comparación de la situación del potencial climático para la viticultura de finales del siglo XX, con la de mediados del siglo XXI, cabría esperar una disminución de las zonas climáticamente más idóneas para la calidad de la uva cultivo en España, ya que la desaparición de zonas con mejores condiciones climáticas sólo se vería parcialmente compensada por la aparición de nuevas zonas en cotas más altas o más septentrionales.

El Cambio Climático también se espera que tenga efectos en la frecuencia de determinados fenómenos climáticos adversos. Las proyecciones de Cambio Climático indican un descenso de la frecuencia e intensidad de las heladas, uno de los principales riesgos de la viticultura en España. Este descenso sería mayor aún en aquellas zonas donde el riesgo actualmente es más alto, como son algunas comarcas de la mitad norte. Por el contrario, la frecuencia de olas de calor que pudieran afectar a la producción e incluso a la propia planta será mayor será mayor, más aún en aquellas zonas más continentales del centro sur peninsular.

En un análisis más detallado del impacto de las temperaturas en el potencial climático vitivinícola en cada una de las DOP, mediante el estudio de los índices de Huglin y Frescor Nocturno, nos muestra que serían las zonas más continentales la Península, pertenecientes a Castilla-La Mancha y Castilla y León, las que sufrirían los mayores impactos. El estudio del impacto de la evapotranspiración y las precipitaciones en el potencial mediante el índice de Sequía, indica que serían las zonas más húmedas del norte las que experimentarían mayores variaciones.

No obstante a la hora de analizar las necesidades de adaptación hay que evaluar cualitativamente la sensibilidad de la viticultura a estos impactos, que dependerá en parte de las condiciones actuales o de partida. Al medir el efecto del incremento de las temperaturas en el potencial climático de la viticultura, los resultados de este análisis prevén que la viticultura de la mitad sur peninsular y en las regiones más cálidas del valle del Ebro, sería la que tendría que afrontar mayores esfuerzos de adaptación. El incremento de temperaturas en estas zonas podría crear mayores desfases entre el ciclo de las variedades y el clima, además de incrementar las posibilidades de que se encuentren desequilibrios en la composición de la uva a causa de una mala maduración, lo que en definitiva podría llegar a limitar tanto la calidad como las variedades que se pudieran cultivar. Además, aunque podría reducirse el número de heladas, el efecto de olas de calor y el incremento de las necesidades hídricas podría llegar a reducir la productividad del viñedo de secano.

Los efectos esperados en las DOP en la mitad norte de España serían más desiguales. La disminución de la frecuencia e intensidad de las heladas podría llevar a incrementos de la productividad, pero el incremento de la temperatura en la

época de maduración o los golpes de calor podrían provocar desequilibrios en la calidad de la uva si la variedad o el manejo no es la adecuada, sobre todo en las zonas menos frías.

En cuanto a los cambios en el régimen de humedad, las necesidades hídricas se incrementarían de forma importante por todo el sur peninsular y por las cuencas baja y media de los ríos Duero y Ebro, hasta el punto de que el regadío pudiera ser necesario para mantener el cultivo.

La capacidad de adaptación a estas necesidades y la vulnerabilidad final depende de numerosos factores socioconómicos y medioambientales que pueden condicionar la implantación de las estrategias necesarias. Un resultado consistente en todas las regiones en la necesidad de más agua para el riego con el fin de garantizar los objetivos de producción estables y minimizar el riesgo de daño de la sequía así como de los golpes de calor. La capacidad de poder mantener o incrementar la superficie y las dotaciones en el regadío será una estrategia fundamental en la gestión de la viticultura. No obstante, esta estrategia puede ser cuestionable por la propia disponibilidad de agua debido a la hidrogeología, a la competencia entre usuarios y al su coste marcado por las limitaciones impuestas por la propia Directiva Marco del Agua y a los propios costes de la energía. Dado que el viñedo es una planta fuertemente adaptada a las condiciones mediterráneas con una mayor productividad hídrica aparente frente a otros cultivos, se debe alcanzar una solución de compromiso entre los costos ambientales y los requisitos de la planta en agua. Para ello se deben extender 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.

Estas posibilidades de adaptación, en gran parte pueden verse favorecidas por la acción política. En primer lugar, la mejora en la información disponible por los agricultores puede mejorar su percepción sobre los riesgos climáticos, contribuyendo a la mejora de la toma de decisiones y a una mejor gestión del riesgo. En segundo lugar, muchas medidas de adaptación y mitigación de estos efectos requieren la realización de inversiones que pueden verse favorecidas por la cofinanciación pública. El Reglamento de Desarrollo Rural y el Programa de apoyo al sector vitivinícola contemplan la posibilidad de conceder ayudas a la introducción de medidas que pueden contribuir a atenuar o adaptarse al Cambio Climático. En la medida en que gran parte de estas medidas tienen una carácter local y experimental, se abren también posibilidades a la acción concertada entre la investigación y el sector agrario, que potencia la nueva PAC a través de las Asociaciones Europeas para la Innovación.

Los cambios en los riesgos climáticos a los que se enfrenta la agricultura, no solo plantean nuevos desafíos ante los que habrá que adaptarse, también introducen nuevas perspectivas para valorar actuaciones y medidas tradicionales, que pueden verse cuestionadas en el nuevo escenario. Es el caso, por ejemplo, de la liberalización de nuevas plantaciones. El mantenimiento de la calidad de los vinos, no solo puede requerir medidas de control de la oferta, sino que demanda flexibilidad en criterios, hasta ahora utilizados por los Consejos Reguladores, para autorizar nuevas plantaciones, como la propia delimitación de la DOP, o cambios en las variedades autorizadas. El aumento de la competitividad de los vinos españoles requiere no solo enfrentarse a unos mercados cada vez más disputados, sino también considerar las interrelaciones con otros riesgos cambiantes y en especial, los riesgos climáticos.

BIBLIOGRAFÍA

Agroseguro (2009) Aspectos actuariales del seguro de viñedo. Seminarios sectoriales de ENESA y CEIGRAM sobre el seguro agrario. Disponible en: http://aplicaciones.magrama.es/documentos_pwe/seminarios/uvavinificacion_agroseguro.pdf

Agroseguro (2010) El Sistema Español de Seguros Agrarios 1980-2009. Disponible en: http://agroseguro.es/fileadmin/propietario/Publicaciones/7_4_OTRAS_PUBLICACIONES/agroseguro__2015-05-18__baja.pdf

Bates BC, Kundzewicz ZW, Wu S, Palutikof JP (2008) Climate change and water: Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Geneva: IPCC Secretariat). Climate Change, 95

Belliveau S, Bradshaw B, Smit B (2006) Multiple exposures and dynamic vulnerability: Evidence from the grape industry in the Okanagan Valley, Canada. Global Environmental Change, 16, 364-378

Bindi M, Fibbi L, Miglietta F (2001a) Free Air CO_2 Enrichment (FACE) of grapevine (Vitis vinifera L.): II. Growth and quality of grape and wine in response to elevated CO2 concentrations. European Journal of Agronomy,14(2), 145-155

Bindi M, Fibbi L, Lanini M, Miglietta F (2001b) Free air CO_2 enrichment (FACE) of grapevine (Vitis vinifera L.): I. Development and testing of the system for CO_2 enrichment. European Journal of Agronomy,14(2), 135-143

Bruinsma J. 2011. The resource outlook to 2050: By how much do land, water use and crop yields need to increase by 2050? Chapter 6 in Conforti, P., ed. 2011. Looking ahead in World Food and Agriculture: Perspectives to 2050. FAO, Rome. Disponible en: http://www.fao.org/docrep/014/i2280e/i2280e06.pdf

Caraveli H (2000) A comparative analysis on intensification and extensification in Mediterranean agriculture: dilemmas for LFAs policy. Journal of Rural Studies, 16, pp. 231-242

Carbonneau A (1998) Irrigation, vignoble et produits de la vigne. Traité dirrigation. Lavoisier, Paris, 257-276

Castro MD, Martín-Vide J, Alonso S (2005) El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI. Impactos del Cambio Climático en España. Ministerio Medio Ambiente: Madrid.

Choné X, Van Leeuwen C, Dubourdieu D, Gaudillère JP (2001) Stem water potential is a sensitive indicator of grapevine water status. Annals of Botany, 87(4), 477-483

Cifre J, Bota J, Escalona JM, Medrano H, Flexas J (2005) Physiological tools for irrigation scheduling in grapevine (Vitis vinifera L.): An open gate to improve water-use efficiency?. Agriculture, Ecosystems & Environment,106(2), 159-170

Coipel J, Rodriguez Lovelle B, Sipp C, Van Leeuwen C (2006) Terroir effect, as a result of environmental stress, depends more on soil depth than on soil type (Vitis vinifera I. Cv. Grenache noir, Cotes du Rhone, France, 2000) Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 40(4), 177

De Orduna RM (2010) Climate change associated effects on grape and wine quality and production. Food Research International, 43(7), 1844-1855

Döll P, Kaspar F, Lehner B (2003) A global hydrological model for deriving water availability indicators: model tuning and validation. Journal of Hydrology, 270(1), 105-134

ENESA (2007) Entidad Estatal de Seguros Agrarios. Conclusiones de la Conferencia Internacional El seguro agrario como instrumento para la gestión de riesgos. Madrid. Disponible en: http://aplicaciones.magrama.es/documentos_pwe/noticias/boletin_51.pdf

Fernández J, Montávez JP, Sáenz J, González-Rouco JF, Zorita E (2007) Sensitivity of the MM5 mesoscale model to physical parameterizations for regional climate studies: Annual cycle. Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012), 112(D4)

Fereres E, Evans RG (2006) Irrigation of fruit trees and vines: an introduction. Irrigation Science, 24(2), 55-57

Fischer G, Nachtergaele FO, Prieler S, Teixeira E, Tóth G, van Velthuizen H, ..., Wiberg D (2012) Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v3. 0): Model Documentation. International Institute for Applied systems Analysis (IIASA), Laxenburg. Rome, Italy: Austria and the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

Frías MD, Mínguez R, Gutiérrez JM, Méndez FJ (2012) Future regional projections of extreme temperatures in Europe: a nonstationary seasonal approach. Climatic Change ,113(2), 371-392

García JG, Martínez-Cutillas A, Romero P (2012) Financial analysis of wine grape production using regulated deficit irrigation and partial-root zone drying strategies. Irrigation Science, 30(3), 179-188

Garrote L, Iglesias A, Granados A, Mediero L, Martin-Carrasco F (2015) Quantitative assessment of climate change vulnerability of irrigation demands in Mediterranean Europe. *Water Resources Management*, *29*(2), 325-338

Giorgi F, Lionello P (2008) Climate change projections for the Mediterranean region. Global and Planetary Change,63(2), 90-104

Gonçalves B, Falco V, Moutinho-Pereira J, Bacelar E, Peixoto F, Correia C (2008) Effects of elevated CO2 on grapevine (Vitis vinifera L.): volatile composition, phenolic content, and in vitro antioxidant activity of red wine. Journal of agricultural and food chemistry, 57(1), 265-273

González-Zeas D, Quiroga S, Iglesias A, Garrote L (2014) Looking beyond the average agricultural impacts in defining adaptation needs in Europe.Regional Environmental Change, 14(5), 1983-1993

Hidalgo L (1999) Tratado de Viticultura General (Mundi-Prensa: Madrid, Spain)

Iglesias A, Garrote L, Flores F, Moneo M (2007) Challenges to manage the risk of water scarcity and climate change in the Mediterranean.Water Resources Management, 21(5), 775-788

Iglesias, A., Quiroga, S., Diz, A. (2011a). Looking into the future of agriculture in a changing climate. European Review of Agricultural Economics, Volume 38 (3), 427-447.

Iglesias A, Quiroga S, Moneo M, Garrote L (2012) From climate change impacts to the development of adaptation strategies: challenges for agriculture in Europe. *Climatic Change*, *112*(1), 143-168

Ikerfel (2009) Barómetro de la calidad del seguro agrario. Fase I. Viñedo, frutal y cereal. Madrid. España

IPPC (2000) Intergovernmental Panel on Climate Change Working Group I Special Report on Emissions Scenarios (Cambridge Univ. Press, Cambridge)

IPCC (2001) Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribución of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp

IPCC (2007) Cambio Climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp

IPCC (2014) Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribución of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

Jiménez-Guerrero P, Montávez JP, Domínguez M, Romera R, Fita L, Fernández J, Gaertner MA. (2013) Description of mean fields and interannual variability in an ensemble of RCM evaluation simulations over Spain: results from the ESCENA project. Climate Research, 57, 201-220

Jones GV (1999) Relationships between grapevine phenology, composition, and quality for Bordeaux, France. Arbor Phaenol, 42, 3-7

Jones GV, White MA, Coope, OR, Storchmann K (2005) Climate change and global wine quality. Climatic change, 73(3), 319-343

Judit G, Gabo, Z, Ádám D, Tamas V, Gyorgy B (2011) Comparison of three soil management methods in the Tokaj wine region. Mitt. Klosterneuburg, 61, 187-195

Kroodsma DA, Field CB (2006) Carbon sequestration in California agriculture, 1980-2000.Ecological Applications, 16(5), 1975-1985

Lenten LJA, Moosa IA (1999) Modelling the trend and seasonality in the consumption of alcoholic beverages in the United Kingdom. Applied Economics, 31, 795–804

Lobell DB, Field CB, Cahill KN, Bonfils C (2006) Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties. Agricultural and Forest Meteorology, 141(2), 208-218

Lobell DB, Burke MB, Tebaldi C, Mastrandrea MD, Falcon WP, Naylor RL (2008) Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. Science, 319(5863), 607-610

Marsal J, Mata M, Del Campo J, Arbones A, Vallverdú X, Girona J, Olivo N (2008) Evaluation of partial root-zone drying for potential field use as a deficit irrigation technique in commercial vineyards according to two different pipeline layouts. Irrigation Science, 26(4), 347-356.

Martínez-Santos P, Llamas MR, Martínez-Alfaro PE (2008) Vulnerability assessment of groundwater resources: a modelling-based approach to the Mancha Occidental aquifer, Spain. Environmental Modelling & Software, 23(9), 1145-1162

Moreno J, De la Rosa D, Zazo C. (2005) Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente

Mori K, Goto-Yamamoto N, Kitayama M, Hashizume K (2007) Loss of anthocyanins in red-wine grape under high temperature. Journal of Experimental Botany, 58(8), 1935-1945

Moriondo M, Jones GV, Bois B, Dibari C, Ferrise R, Trombi G, Bindi M (2013) Projected shifts of wine regions in response to climate change. Climatic change, 119(3-4), 825-839

Moss RH, Brenkert AL, Malone EL (2001) Vulnerability to climate change: a quantitative approach. Technical Report PNNL-SA-33642, Pacific Northwest National Laboratories, Richland, WA

Moutinho-Pereira J, Gonçalves B, Bacelar E, Cunha JB, Coutinho J, Correia, CM (2009) Effects of elevated CO. Vitis, 48(4), 159-165

Mullins MG, Bouquet A, Williams LE (1992) Biology of the grapevine. Cambridge University Press

Myneni RB, Keeling CD, Tucker CJ, Asrar G, Nemani RR (1997) Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991. Nature, 386(6626), 698-702

Nicholas KA, Durham WH (2012) Farm-scale adaptation and vulnerability to environmental stresses: Insights from winegrowing in Northern California. Global Environmental Change, 22(2), 483-494

Palliotti A, Tombesi S, Silvestroni O, Lanari V, Gatti M, Poni S (2014) Changes in vineyard establishment and canopy management urged by earlier climate-related grape ripening: A review. Scientia Horticulturae, 178, 43-54

Resco P. (2015). *Viticultura y Cambio Climático en España: Vulnerabilidad en las distintas regiones y estrategias de adaptación frente al desarrollo de nuevas políticas*. Thesis (Doctoral), E.T.S.I. Agrónomos (UPM).

Resco P, Iglesias A, Bardají I, Sotés V (2015) Exploring adaptation choices for grapevine regions in Spain. Regional Environmental Change, 1-15

Resco P, Iglesias A, Bardají I, Sotés V, (2014) Vulnerabilidad del viñedo ante el Cambio Climático. Castillo JS, Compés R (eds.), Economía del vino en España y el mundo, Cajamar Caja Rural: Almería, 239-261

Riquelme FJM, Ramos AB (2005) Land and water use management in vine growing by using geographic information systems in Castilla-La Mancha, Spain. Agricultural water management, 77(1), 82-95

Rogers HH, Dahlman RC (1993) Crop responses to CO2 enrichment. Vegetatio, 104(1), 117-131

Rosenzweig C, Strzepek K, Major D, Iglesias A, Yates, D, Holt, A, Hillel, D. (2004) Water availability for agriculture under climate change: five international studies. Global Environmental Change, 14, 345-360

Sánchez R, Domingo R, Castel JR (2010) Deficit irrigation in fruit trees and vines in Spain. Spanish Journal of Agricultural Research, 8(S2), S5-S20

Santos JA, Malheiro AC, Pinto JG, Jones GV (2012) Macroclimate and viticultural zoning in Europe: observed trends and atmospheric forcing. Climate Research, 51(1), 89-103

Sotés V. (2011) Advances in grape culture worldwide. Revista Brasileira de Fruticultura, 33(spe1), 131-143

Stott PA, Tett SF, Jones GS, Allen MR, Ingram WJ, Mitchell JF (2001) Attribution of twentieth century temperature change to natural and anthropogenic causes. Climate Dynamics, 17(1), 1-21

Tonietto J, Carbonneau A (2004) A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. Agricultural and Forest Meteorology, 124(1), 81-97

Tonietto J, Sotés V, Gómez-Miguel VD (2012) Clima, zonificación y tipicidad del vino en regiones vitivinícolas iberoamericanas. *Madrid: CYTED*

Van der Linden P, Mitchell JE (2009) ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK, 160

Van Leeuwen C, Friant P, Chone X, Tregoat O, Koundouras S, Dubourdieu D (2004) Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. American Journal of Enology and Viticulture, 55(3), 207-217

Webb L, Watt A, Hill T, Whiting J, Wigg F, Dunn G, ..., Barlow EWR (2009) Extreme heat: managing grapevine response. Report to GWRDC. Univ. of Melbourne

Cambio climático y viñedo en España

EFECTOS Y ADAPTACIÓN DEL VIÑEDO AL CAMBIO CLIMÁTICO

COAG

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

Fundación Biodiversidad

CON EL APOYO DEL MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE A TRAVÉS DE LA FUNDACIÓN BIODIVERSIDAD