

## **Cambio climático: observaciones, pronósticos e implicaciones generales en viticultura y producción vinícola**

Gregory V. Jones

Departamento de Geografía, Southern Oregon University

Como consecuencia del cambio climático, se prevé que surgirán más zonas dedicadas al cultivo vinícola y donde la producción de la vid será mucho más viable. De este modo, la elaboración de vino de calidad y el cultivo de viñedos supondrán todo un desafío para los productores. En conjunto, los pronósticos sobre la magnitud del cambio climático apuntan a diversos impactos en la industria vinícola, incluyendo las presiones añadidas de la carencia de suministradores de agua, de otras alteraciones en el proceso fenológico de los viñedos, de alteraciones en el sabor y la composición de las uvas y el vino, de cambios específicamente regionales que afectarán a ciertas variedades de uva, de variaciones necesarias en estilos vinícolas regionales y de cambios espaciales en regiones idóneas para cultivar esta planta.

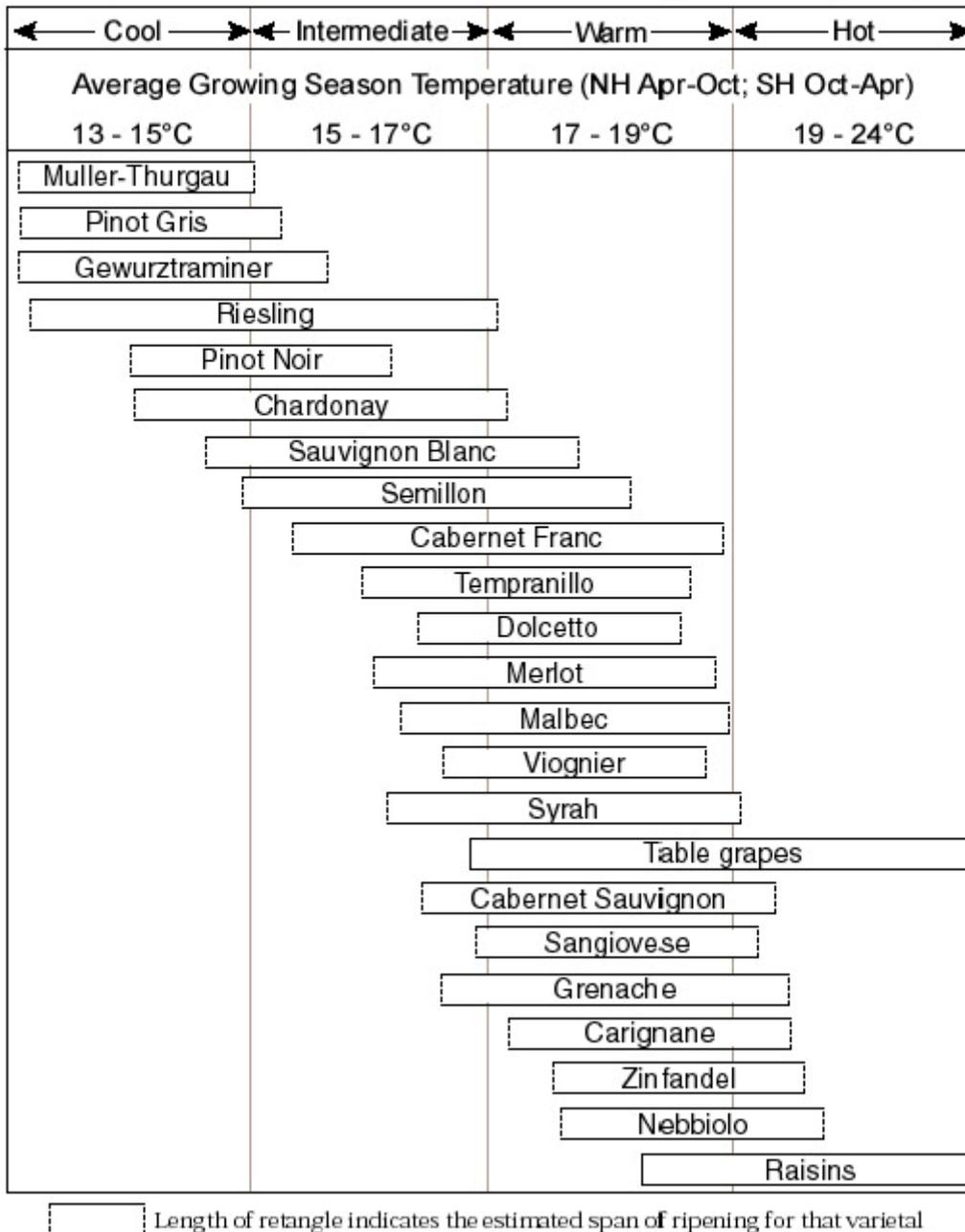
### **Cambio climático, viticultura y vino**

La vid es una de las plantas que se cultiva desde tiempos ancestrales y que, al igual que ocurre con el proceso de creación del vino, ha estado ligada a una historia de desarrollo cultural y geográfico.<sup>1-3</sup> Las regiones vinícolas actuales que se dedican a producir vino de calidad están ubicadas en nichos geográficos relativamente pequeños y, por lo tanto, son más propensas a sufrir las consecuencias del cambio climático, tanto a corto plazo como a largo plazo, que otros cultivos con una superficie mayor. En general, el tipo de vino que produce una región es el resultado de un clima determinado. Por ello, las variaciones climáticas pueden determinar diferencias cualitativas en el vino. Por lo tanto, los cambios climáticos que influyen tanto a la variabilidad como a la cosecha vinícola pueden introducir alteraciones en cada tipo de vino. Nuestra comprensión del cambio climático y de los posibles impactos que pueda tener en la viticultura y la producción de vino ha ido en aumento, pues la alteración de los niveles de gases de efecto invernadero y sus variaciones en la superficie terrestre provocan ciertos cambios en la radiación que recibe la Tierra, en la circulación atmosférica y en el ciclo hidrológico.<sup>4</sup> La observación del calentamiento global llevada a cabo durante el último siglo ha demostrado que éste es asimétrico respecto a los ciclos estacionales y diarios. Además, también mostró que el mayor calentamiento ocurre en invierno, en primavera y por la noche.<sup>5-6</sup> La observación de las tendencias de la temperatura indica que éstas están relacionadas con la viabilidad de la producción agrícola, por el grado de dureza del invierno, la posibilidad de heladas y la creciente duración de las estaciones.<sup>6-11</sup>

Para situar la viticultura y la producción vinícola en el contexto climático más apropiado, para describir los posibles impactos derivados del cambio climático y para

establecer regiones óptimas, se pueden utilizar diversos sistemas métricos basados en la temperatura (por ejemplo, grados por día, temperatura media del mes más caluroso, aumento de las temperaturas medias de cada estación, etc.).<sup>12</sup> Por ejemplo, la temperatura media de la temporada de crecimiento define la maduración idónea para obtener una variedad de vino de calidad, ya sea en climas calurosos, templados, intermedios o frescos (fig. 1).<sup>12</sup> Por ejemplo, la variedad cabernet sauvignon se cultiva en regiones que abarcan climas intermedios y calurosos, con temperaturas medias en temporada de crecimiento que varían aproximadamente entre los 16,5 °C y los 19,5 °C (como Burdeos o Napa). En el caso de variedades que crecen en climas más frescos, como el pinot noir, éstas suelen encontrarse en regiones cuyas temperaturas varían aproximadamente entre 14,0 °C y 16 °C (por ejemplo el norte de Oregón o Borgoña). Teniendo en cuenta la importancia del clima a la hora de producir vinos de calidad, el impacto del cambio climático no será uniforme en todas las variedades y regiones, sino que éste estará relacionado con el umbral climático a través del cual todo calentamiento constante impedirá que una región produzca vino de calidad con las variedades existentes. Por ejemplo, si una región tiene una temperatura media de 15 °C durante la temporada de crecimiento y la temperatura sube 1 °C, la región será, en términos climáticos, más idónea para ciertas variedades y menos para otras. Si la magnitud del calentamiento es de 2 °C o más, es probable que la región altere su propio clima y, por lo tanto, también altere la época de maduración de la uva (por ejemplo, pasando de clima intermedio a templado). Aunque en muchos casos la gama de variedades que una misma región puede cosechar se expandirá, si una región se dedica a producir vinos que maduran en climas cálidos, la vendimia se convertirá en todo un desafío e incluso en algo imposible. Además, las observaciones indican que el cambio climático no sólo provocará alteraciones en el medio, sino también en la varianza. Si este es el caso, tales alteraciones serán extremas: las zonas calurosas sufrirán un aumento de las temperaturas y las zonas más frías un descenso de las mismas. Por tanto, aunque en algunas regiones la estructura climatológica media mejore, la variabilidad aún será muy evidente y, posiblemente, mucho más restrictiva que hoy en día.

# Grapevine Climate/Maturity Groupings



**Figura 1.** Las agrupaciones según el clima y la maduración que figuran en esta estadística están basadas en la relación entre las exigencias fenológicas y el clima para alcanzar una producción de vino de alta calidad en las regiones mundiales consideradas como puntos de referencia. La línea discontinua al final de cada figura indica que es posible que se realicen ajustes a medida que se obtengan más datos. Sin embargo, los cambios de más de +/- 0,2-0,6 °C son completamente improbables. Las estadísticas y las investigaciones que respaldan estos datos siguen en curso.<sup>13</sup>

En conjunto, tanto el impacto como el desafío que presenta la producción de vinos de calidad relacionados con el cambio climático y con las alteraciones climatológicas en la época de cosecha se notarán, mayoritariamente, en el rápido crecimiento de la planta y en el desequilibrio de maduración. Por ejemplo, si actualmente una región experimenta un período de maduración que permite que los azúcares se acumulen a un nivel

adecuado, que mantiene la estructura ácida y que produce un sabor óptimo para esa variedad, entonces el vino será equilibrado. En un entorno más cálido de lo deseado, la vid experimentará los acontecimientos fenológicos más rápidamente, lo cual resultará en una madurez con altos niveles de azúcares y, mientras el productor vinícola esté esperando que los sabores se desarrollen, la acidez se perderá debido a la respiración. Esto provocará que el vino no esté en su punto de equilibrio. Esto puede solucionarse realizando ciertos ajustes en la bodega. Sin embargo, estas alteraciones pueden aumentar los niveles de alcohol en algunas regiones. Por ejemplo, Duchêne y Scheider descubrieron que los niveles de alcohol del vino riesling de la cosecha de Alsacia aumentó alrededor de un 2,5 % (en volumen) durante los últimos 30 años y que parecía estar íntimamente correlacionado con un aumento de las temperaturas en la época de cosecha y con una fenología más temprana.<sup>14</sup>

Godden y Guisen resumen las últimas tendencias de la composición de vinos de origen australiano y, pese a que no atribuyen influencia alguna al aumento de las temperaturas que sufre actualmente Australia,<sup>15, 16</sup> muestran un incremento del contenido alcohólico entre el 12,3 % y el 13,9 % en el caso de vino tinto y entre el 12,2 % y el 13,2 % en el caso del vino blanco desde el año 1984 hasta el 2001.<sup>17</sup> En el caso de Napa, los niveles medios de alcohol han aumentado de un 12,5 % a un 14,8 % desde el año 1971 hasta el 2001, mientras los niveles de ácido han disminuido considerablemente y el pH se ha incrementado.<sup>18</sup> Mientras este trabajo afirma que esta corriente se debe a la preferencia de los catadores de vino por variedades más audaces y con más cuerpo y a la economía de los sistemas de cosecha, dos investigaciones recientes señalan que la variabilidad y cambio climáticos en las variedades de vino son los directos responsables de, por lo menos, el 50 % del aumento de los niveles de alcohol.<sup>19,20</sup>

Además de las alteraciones en los tipos de vinos, uno de los problemas más significativos relacionados con el incremento de los niveles de alcohol es que los vinos no envejecen del mismo modo con tales niveles de alcohol. Finalmente, las cosechas que se producen a principios de verano, una de las épocas más calurosas de la temporada de crecimiento (por ejemplo, agosto o septiembre en vez de octubre en el hemisferio norte) darán frutos cuya maduración se ha producido en un clima cálido y, por lo tanto, si no se riegan con más frecuencia, los frutos se desecarán.

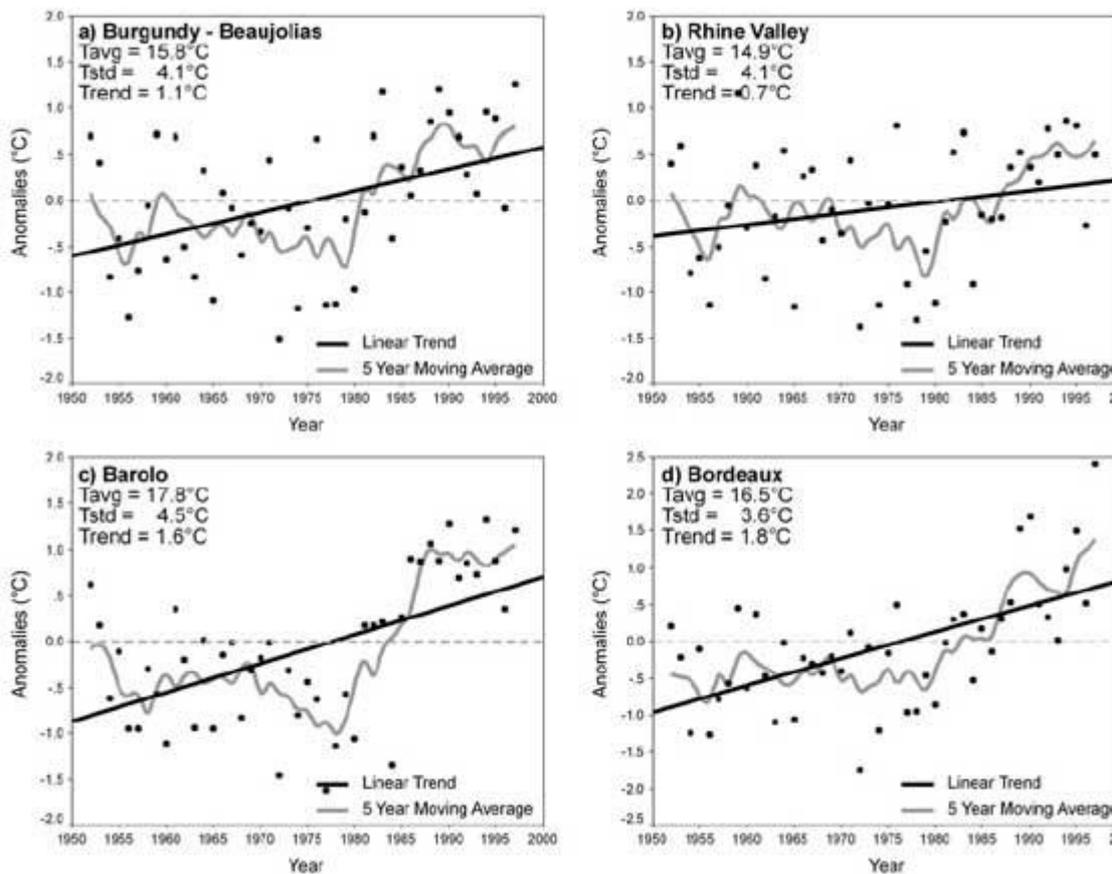
## **Observaciones históricas sobre los climas de las regiones vinícolas**

La historia ha demostrado que la vid cultivada en regiones vinícolas se desarrollaba cuando el clima era propicio y favorable y que los cambios producidos en regiones cuya producción de vino es viable son resultado del cambio climático, el cual provoca que la producción sea más difícil o más sencilla.<sup>12, 21, 22</sup>

En Europa, se mantiene un registro de todas las fechas de vendimia y cosecha que se han llevado a cabo durante el último milenio.<sup>2, 22</sup> Estos datos muestran períodos en los que la temperatura de la temporada de crecimiento resultaba más beneficiosa y que, por ello, la productividad era mayor y, en algunas regiones, la calidad del vino mejoraba considerablemente. Otras pruebas demuestran que las vides se plantaban en zonas costeras del Mar Báltico y del sur de Inglaterra durante el período cálido medieval (aproximadamente entre 900 y 1300 D.C.), cuando las temperaturas eran hasta 1 °C más

altas.<sup>12</sup> Durante la Edad Media (siglos XII y XIII), la cosecha se llevaba a cabo en septiembre, lo cual dista mucho de la actual, que tradicionalmente se producía a mediados de octubre. Además, las temperaturas de la temporada de crecimiento debían ser, por lo menos, 1,7 °C más elevadas que las actuales.<sup>12, 22</sup> Sin embargo, durante el siglo XIV, el gran descenso de las temperaturas condujo a una pequeña edad de hielo (que duró hasta finales del siglo XIX). Esto provocó que la mayoría de los viñedos del norte se marchitaran y que las temporadas de crecimiento fueran tan cortas que la cosecha de uva en el resto de Europa fuera muy compleja. Además, la investigación ha utilizado fechas de vendimias contemporáneas de Borgoña para reconstruir las temperaturas estivales y primaverales desde el 1370 hasta el 2003 y, aunque los resultados indican que las temperaturas tan elevadas como las que se alcanzaron en el caluroso 1990 ya se habían alcanzado varias veces en esa misma región desde 1370, las temperaturas extremas sufridas durante el verano del 2003 jamás se habían alcanzado antes.<sup>23</sup>

Jones y colaboradores han llevado a cabo otras investigaciones más recientes acerca de los impactos del cambio climático sobre la calidad del vino.<sup>24</sup> En ellas, analizan el incremento de la temperatura media de las temporadas de crecimiento en 27 de las regiones mundiales que producen vino de gran calidad y descubren que las temperaturas medias de la temporada de crecimiento habían aumentado 1,3 °C a lo largo de los últimos 50 años. Curiosamente, tal calentamiento no fue uniforme en todas las regiones, sino que fue más pronunciado en la zona oeste de Estados Unidos y en Europa y menos intenso en Chile, Suráfrica y Australia. Sin embargo, las regiones más afectadas por el aumento de las temperaturas (más de 2,5 °C) fueron la Península Ibérica, el Sur de Francia y ciertas partes de los estados de Washington y California. La figura 2 proporciona ejemplos del calentamiento observado en las regiones de Borgoña (Beaujolais), el Valle del Rin, Barolo y Burdeos entre el 1950 y el 1999, período en el cual se produjo un aumento de las temperaturas de entre 0,7 °C y 1,8 °C. El estudio también descubrió que el vino añejo en estas regiones ha mostrado una tendencia a aumentar su calidad general y que las temperaturas de las temporadas de crecimiento era un factor importante a tener en cuenta en varias regiones productoras de este tipo de vino.<sup>25, 26</sup> Sin embargo, esta mejora no se produjo de modo uniforme y lineal en todas las regiones. Dependiendo de la región y del tipo de vino, las consecuencias marginales de las temperaturas de la temporada de crecimiento demuestran que el aumento de 1 °C en la temperatura del vino añejo conlleva un incremento de entre 10 y 22 puntos a la hora de valorar el producto.<sup>24</sup> La investigación también apunta a la importancia de otros factores además de la temperatura, como por ejemplo la tecnología. Además, la investigación descubrió que los umbrales climáticos son evidentes en muchas regiones en las que, una vez superada la temperatura de la temporada de crecimiento, se observa un deterioro de la calidad. Por lo tanto, la norma general «cuanto más cálido, mejor» no puede aplicarse a todas las regiones vinícolas pues no todas alcanzan las temperaturas óptimas para producir el vino de mejor calidad.



**Figura 2.** Anomalías observadas en las temperaturas medias de la temporada de crecimiento para a) la región de Beaujolais de Borgoña, b) el Valle del Rin, c) Barolo y d) Burdeos, y analizadas por Jones.<sup>24</sup> Los datos sobre las temperaturas son cifras mensuales extraídas de una cuadrícula de 0,5° x 0,5° correspondientes a las regiones productoras de vino entre el 1950 y el 1999. *Tmed* es la temperatura media de la temporada de crecimiento (entre abril y octubre en el hemisferio norte y entre octubre y abril en el hemisferio sur), *Tstd* es la desviación estándar de las temperaturas mensuales durante la temporada de crecimiento y *Trend* indica la desviación estándar de los últimos cincuenta años.

Otros análisis más específicos y más concluyentes a escala regional coinciden con las observaciones mundiales acerca de las tendencias climáticas que sufren las regiones vinícolas.<sup>11,27,28</sup> En general, durante los últimos 70 años, muchas de las regiones mundiales productoras de vino han experimentado una disminución de las heladas, una alteración de las épocas de las mismas y estaciones más calurosas. En Norteamérica, una investigación ha expuesto cambios significativos en las temperaturas de las temporadas de crecimiento, sobre todo en las regiones productoras de vino de California, Oregón y Washington, cuyas temperaturas han aumentado 0,9 °C. Este incremento se debe, principalmente, a las alteraciones de las temperaturas mínimas, a la acumulación de calor, a una disminución de la frecuencia de heladas que es todavía más importante en primavera, a heladas que se producen a finales de primavera y a principios de otoño y a largos períodos de tiempo sin heladas.<sup>11</sup> Los cambios de temperatura en el Valle de Napa desde 1930 demuestran que la acumulación de calor ha aumentado en 350 unidades (grados/días en unidades de °C).<sup>20</sup> Este incremento se debe al importante calentamiento nocturno, cuyas temperaturas han aumentado hasta 3 °C. Sin embargo, las temperaturas diurnas no muestran alteraciones significativas. Las precipitaciones son muy variables en la zona oeste de Estados Unidos, ya que dependen

más de mecanismos climatológicos a gran escala, como por ejemplo El Niño o la Oscilación Decadal del Pacífico Norte, que de tendencias estructurales.<sup>20</sup>

Un estudio centrado en el Valle de Napa y California descubrió que las cosechas y la calidad vinícolas de los últimos cincuenta años estuvieron influenciadas por un calentamiento asimétrico (por la noche y en primavera). En este caso, la reducción de heladas, el rápido crecimiento de las vides en primavera y las largas temporadas de crecimiento fueron los factores más influyentes.<sup>9</sup> Además, un estudio analiza las heladas más extremas que azotan a dos regiones vinícolas importantes en Norteamérica (ubicadas al este de Washington y en la Península del Niágara en Canadá). Este estudio revela que, aunque se ha producido un calentamiento en los niveles de temperaturas mínimas moderadas (días cuyas temperaturas no superan los 0 °C), las temperaturas extremadamente bajas (-5 °C o menos) no han sufrido alteraciones en términos de frecuencia durante los últimos 75 años.<sup>29</sup> Además, un cálculo estimado de los pocos datos disponibles en Estados Unidos muestra alteraciones en la fenología vinícola, que se ha adelantado entre 2 y 5 días por década durante los últimos 25-35 años, dependiendo de la variedad y la región.<sup>29,30</sup> Estas alteraciones están íntimamente relacionadas con primaveras y estíos más calurosos.

Una reciente investigación en Europa ha mostrado resultados similares a los que se hallaron en Norteamérica y que se han descrito anteriormente.<sup>28</sup> Una observación de las tendencias fenológicas y climatológicas de los últimos 30-50 años llevada a cabo en once ubicaciones europeas que gozan de climas diferentes (desde zonas frescas hasta templadas) y que centra su atención en 16 variedades de vid demuestra que el calentamiento afecta a todas las estaciones, aunque azota con más intensidad en primavera y verano. La temperatura de las temporadas de crecimiento de las ubicaciones en cuestión ha aumentado alrededor de 1,7 °C de media. Además, tal calentamiento se produce por la noche. La acumulación de calor también ha incrementado alrededor de 250-300 unidades (unidades de °C) aunque la frecuencia de precipitaciones no ha sufrido alteraciones significativas.

En el caso de España, Jones y colaboradores consideran que las temporadas de crecimiento han sufrido un aumento de las temperaturas entre un 0,8 °C y 1,2 °C en el caso de la comunidad de Galicia y la provincia de Valladolid.<sup>28</sup> En ambas regiones, dicho calentamiento es más significativo por la noche (las temperaturas mínimas han aumentado entre 1,1 °C y 2,1 °C) que por el día (poco significativo). La acumulación de calor, se mida con el índice de posibilidades heliotérmicas de Huglin o con los índices de Winkler, se ha incrementado en las zonas interiores de Galicia, a diferencia de las zonas costeras de la región, donde apenas se ha notado tal acumulación. Además, el proceso fenológico de la viña en Europa ha demostrado estar íntimamente relacionado con el calentamiento observado y muestra una tendencia a adelantarse entre 6 y 25 días dependiendo de la variedad y la ubicación de la vid.<sup>28</sup> Los cambios son más significativos en época de envero y cosecha. En esos momentos, se observa un efecto más evidente e integrado del calentamiento de la temporada de crecimiento. La duración de los procesos fenológicos también ha disminuido: la floración de los capullos, el envero y la temporada de crecimiento se han acortado 14, 15 y 17 días, respectivamente. Después de calcular la media teniendo en cuenta todas las ubicaciones y variedades, la fenología de la viña muestra un incremento medio de 1 °C de temperatura durante los últimos 30-50 años.

## Pronósticos acerca de los climas de las regiones vinícolas

Los pronósticos acerca de los climas futuros se realizan mediante modelos basados en el funcionamiento de los sistemas climáticos. Estos modelos se utilizan para examinar cómo el entorno, en este caso la viticultura y la producción vinícola, van a responder a tales cambios. Los modelos son representaciones matemáticas complejas en 3D de nuestro sistema atmosférico y representan análisis espaciales y temporales de las leyes de la energía, masa, humedad y transferencia de calor en la atmósfera y entre la atmósfera y la superficie terrestre. Además, estos modelos climáticos están basados en las emisiones previstas por el IPCC<sup>4</sup>, las cuales indican futuras emisiones de CO<sub>2</sub> que produciremos los humanos. Los diversos modelos que se utilizan hoy en día, junto con el hecho de que se basan en un sistema no lineal y que utilizan datos sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>, muestran una serie de alteraciones importantes en la temperatura y las precipitaciones del planeta.<sup>4</sup> El trabajo realizado durante las últimas tres décadas siguiendo los modelos demuestra que el aumento de las temperaturas registrado en las regiones vinícolas de todo el mundo va a seguir produciéndose. Uno de los primeros análisis sobre el impacto del cambio climático en la viticultura sugirió que las temporadas de crecimiento en Europa se alargarían y que la calidad del vino en las regiones de la Champaña y Burdeos mejoraría considerablemente. Estas observaciones se han cumplido al pie de la letra.<sup>31</sup>

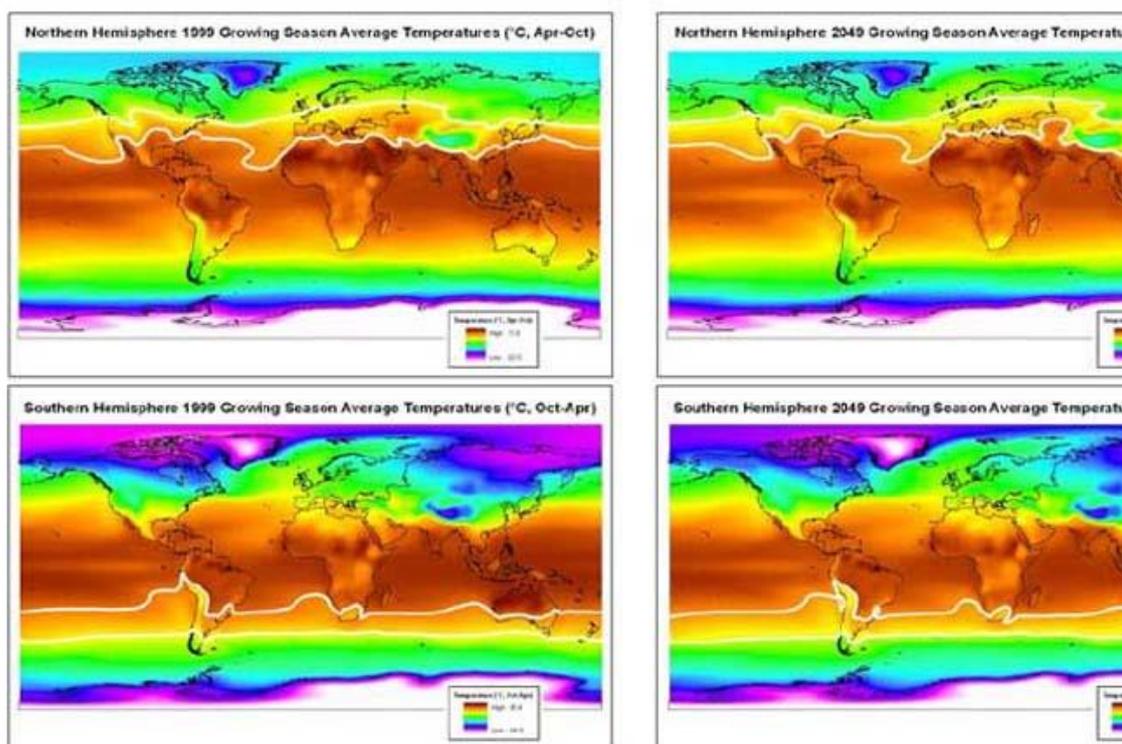
Además, las investigaciones sobre los modelos espaciales también indican alteraciones importantes y/o expansiones en la geografía de las regiones productoras de vino. También predicen que algunas zonas del sur de Europa experimentarán un aumento de temperatura, lo cual les impedirá producir vinos de gran calidad. Sin embargo, las regiones septentrionales disfrutarán de unas temperaturas más estables en lo referente a las temporadas de crecimiento.<sup>32,33</sup>

Al examinar las diversas variedades específicas (sangiovese y cabernet sauvignon), se descubrió que el cambio climático en Italia conduciría a una reducción de los intervalos de cultivo y a un aumento de la variabilidad de las cosechas.<sup>34</sup> Otros estudios acerca del impacto del cambio climático en el cultivo de la uva y la producción vinícola muestran alteraciones significativas en la distribución geográfica de regiones idóneas para cultivar vid. Estas alteraciones se deben a cambios en la temperatura y las precipitaciones, a la posibilidad de plagas y enfermedades causadas por inviernos más suaves, a cambios en el nivel del mar, los cuales alteran las influencias costeras en los climas de las regiones vinícolas, al efecto del incremento de CO<sub>2</sub> en el vino y en la textura de la corteza de roble, utilizada para fabricar barricas de vino.<sup>15,35-37</sup>

En la escala de idoneidad de regiones vinícolas mundiales, siempre se ha considerado que las zonas vinícolas deben hallarse en ubicaciones cuyas isotermas medias anuales correspondan a 10-20 °C y que las isotermas medias para la temporada de crecimiento sean de 12-22°C.<sup>1, 13, 38, 39</sup> Sin embargo, Jones señaló que el criterio de la temporada de crecimiento era más válido que el anual, ya que las isotermas 12-22 °C eran más completas para evaluar las regiones mundiales productoras de vino.<sup>40</sup> Para examinar los límites latitudinales mundiales que hacían a una región idónea para la viticultura teniendo en cuenta el clima, Jones utilizó los resultados del *Community Climate System Model* (CCSM) en una resolución de 1,4° x 1,4° (latitud, longitud) y unas perspectivas

de emisiones de B1 (moderadas), A1B (medias) y A2 (elevadas). Con estos datos, se representaron las alteraciones de las isotermas 12-22 °C durante tres períodos de tiempo distintos (1999, 2049 y 2099). Las alteraciones del período base, 1999, muestran cambios tanto en la cantidad de regiones idóneas para la producción de vino como en la latitud general (fig. 3).

En 2049, las isotermas de 12 °C y 22 °C ascendían alrededor de 150 y 3000 km hacia el norte en ambos hemisferios para todas las perspectivas de emisiones. En el año 2099, las isotermas volvían a sufrir una alteración y ascendían entre 125 y 250 km más hacia el norte. Estos cambios son marginalmente más significativos en la franja norte si se comparan con aquellos que afectan a la franja ecuatorial en ambos hemisferios. No obstante, las regiones mundiales con dichas isotermas se expanden en el caso del hemisferio norte y se reducen en el hemisferio sur debido a diferencias de la masa de la tierra (fig. 3). Alteraciones similares se observan en el año 2099 para todas las perspectivas de emisiones.



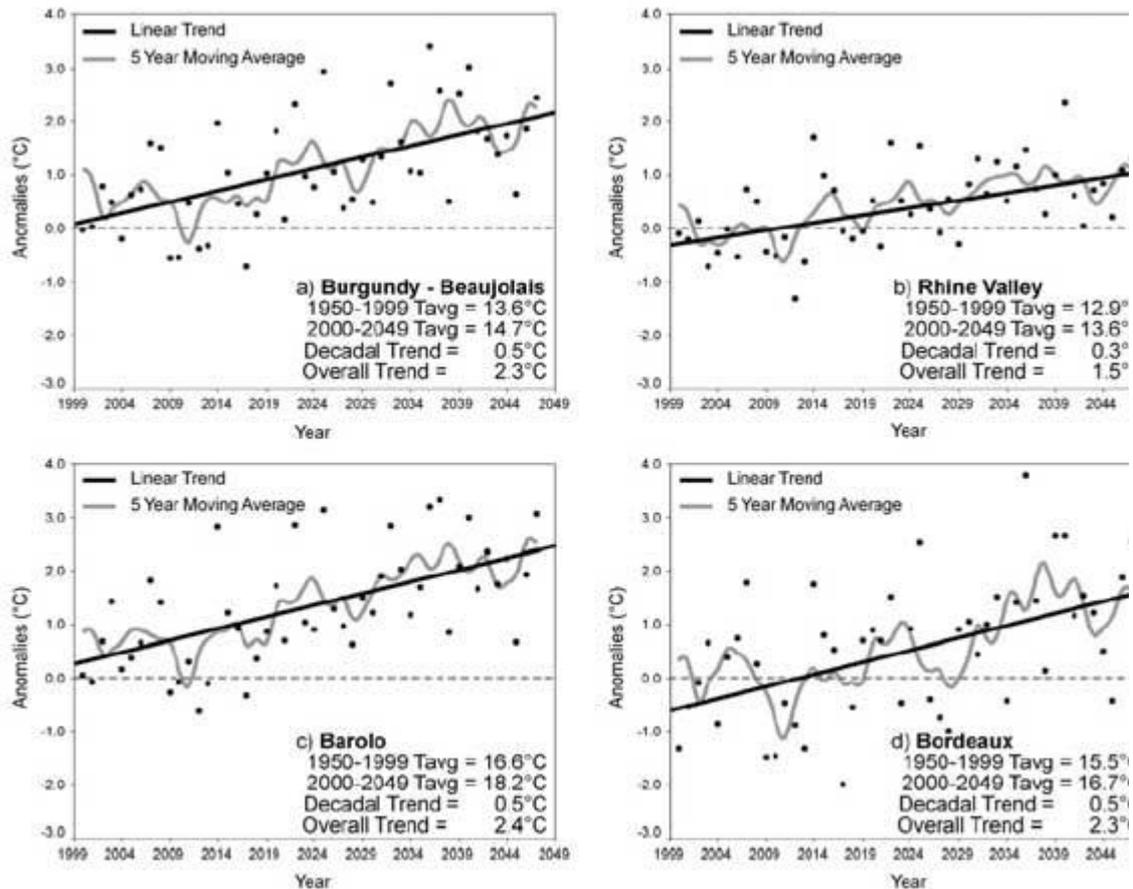
**Figura 3.** Mapas de temperaturas medias durante la temporada de crecimiento (hemisferio norte entre abril y octubre, hemisferio sur entre octubre y abril) obtenidos a partir de observaciones y de los modelos CCSM. El panel izquierdo corresponde al año 1999 y el derecho al 2049. Los pronósticos futuros están dirigidos a perspectivas de emisión A1B (consumo moderado). Las isotermas destacadas (de color blanco) corresponden a la media 12-22 °C. Esta media representa el límite latitudinal de la mayoría de regiones mundiales dedicadas al cultivo de uva.<sup>13,40</sup>

Jones y colaboradores compararon la temperatura media de dos períodos de tiempo, uno entre los años 1950 y 1999 y otro entre el 2000 y el 2049.<sup>24</sup> Para ello, se utilizaron los resultados del modelo climático global Hadley (HadCM3), los cuales tenían como referencia 27 regiones mundiales productoras de vino, y se consideró una perspectiva de emisión A2 para el año 2049.<sup>41</sup> Los resultados sugieren que la temperatura media de la temporada de crecimiento aumentará un promedio de 1,3 °C en las regiones vinícolas

estudiadas (Borgoña, el Valle del Rin, Barolo y Burdeos) con una diferencia entre ellas de 0,9-1,4 °C (fig. 4). Además, las alteraciones pronosticadas son más significativas en el hemisferio norte (1,3 °C) que en el hemisferio sur (0,9 °C).

Las observaciones sobre los cambios pronosticados para el período 2000-2049 revelan alteraciones significativas en cada una de las regiones vinícolas que tienden a aumentar su temperatura entre 0,2 y 0,6 °C por década. En general, la tendencia durante el período 2000-2049 será el aumento de 2 °C en todas las regiones. La menos afectada será Suráfrica, cuyas temperaturas crecerán 0,9 °C en un período de cincuenta años. En cambio, la que sufrirá un mayor calentamiento será Portugal, con un aumento de 2,9 °C en un período de cincuenta años. En el caso de las regiones de Borgoña, el Valle del Rin, Barolo y Burdeos, el incremento por década varía entre 0,3 y 0,5 °C, aunque la tendencia general indica un aumento de entre 1,5 y 2,4 °C (fig. 4). Además, se demostró que muchas de las regiones vinícolas podrían acercarse a la temperatura óptima deseada para la temporada de crecimiento, lo cual resultaría en una producción de vino de alta calidad, tal y como se pronosticó a partir de las diferencias entre las temperaturas medias de los períodos de 1950-1999 y 2000-2049.<sup>24</sup> Ese trabajo también demostró que se producirán otros aumentos que harán que ciertas regiones vinícolas se alejen de la temperatura óptima deseada. La magnitud de estas alteraciones en la temperatura media de la temporada de crecimiento indica cambios importantes en ciertos tipos de vino de algunas regiones que, actualmente, producen variedades maduras. Regresando a la figura 1, donde la temperatura media de la temporada de crecimiento de Burdeos de los últimos cincuenta años corresponde a 16,5 °C, cabe resaltar que la tendencia general de calentamiento para esta región para el año 2049 aumentará 2,3 °C. Una temperatura media de 18,8 °C durante la temporada de crecimiento situaría a Burdeos en el límite del clima óptimo para la producción de variedades rojas que hoy en día se cultivan en esa región y la alejaría de la temperatura ideal para cultivar la mayoría de variedades blancas.

Desde Napa nos llegan más pruebas de estos impactos, donde se pronostica que la media histórica de 17,5 °C aumentará 2,2 °C, alcanzando así los 19,7 °C en el año 2049. Este efecto situaría a Napa en el límite de la temperatura óptima para casi todas las variedades comunes (fig. 1). Finalmente, los resultados también indican un calentamiento durante los períodos de reposo, lo cual podría influenciar a la cosecha. No obstante, las observaciones y los modelos señalan una variabilidad estacional continuada, o incluso mayor, que podría conllevar problemas en regiones propensas a las heladas.



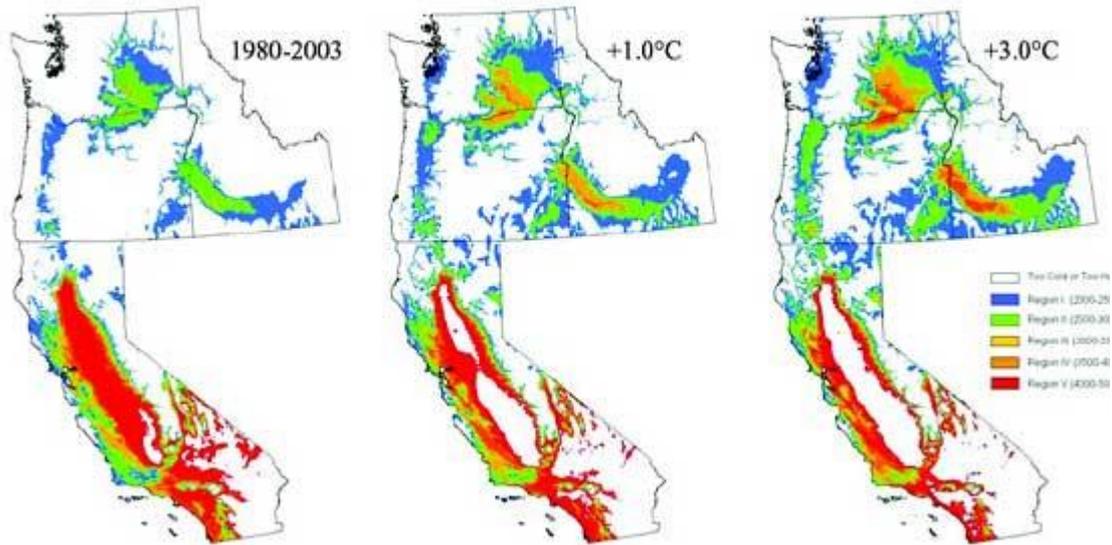
**Figura 4.** Anomalías en la temperatura media de la temporada de crecimiento en: a) la región Beaujolais de Borgoña, b) el Valle del Rin, c) Barolo y d) Burdeos, tal y como se analizaron en Jones et al. (2005).<sup>24</sup> Los datos sobre la temperatura provienen del modelo climatológico HadCM3 a escala mensual y están extraídos de una cuadrícula de 2,5°C x 3,75°C. Estos datos corresponden a las regiones productoras de vino durante el período 2000-2049. Las anomalías aparecen, según el modelo HadCM3, durante el período base (1950-1999). Los valores generales muestran las alteraciones medias de cada década y el cambio total durante un período de cincuenta años.

En el caso de Estados Unidos, White et al.<sup>42</sup> utilizaron un modelo climatológico general de alta resolución (25 km) basado en una perspectiva de emisión de gases invernadero A2 y estimaron que las regiones idóneas para la producción vinícola entre los estados colindantes de Estados Unidos podrían reducirse hasta un 81% a finales del siglo XXI. La investigación comprobó que el aumento de la acumulación de calor provocaría alteraciones en la producción vinícola: variedades que requieren temperaturas más cálidas y/o productos finales de peor calidad. Además, los modelos indican que, mientras por un lado las heladas se reducen, la creciente frecuencia de días calurosos (>35 °C) durante la temporada de crecimiento provocará la eliminación completa de la producción vinícola en muchas regiones de los Estados Unidos. Asimismo, la producción de uva y vino se verá restringida a la costa oeste y a las regiones noroestes y norestes, donde el exceso de humedad ya es un problema.<sup>42</sup>

A partir de un análisis más regional<sup>27</sup>, Jones examinó la idoneidad en la costa oeste norteamericana basándose en una fórmula estándar de la acumulación de calor desarrollada originalmente por Amerine y Winkler.<sup>43</sup> Las regiones de Winkler están definidas por los parámetros grados-día utilizando como base los 10° en la temporada de

crecimiento, entre abril y octubre. Las cinco regiones resultantes muestran una gran idoneidad para la producción de vino y abarcan todos los climas y variedades. Al utilizar datos históricos recientes a una resolución de 1 km,<sup>44</sup> se infiere que la región más fresca I está a una altura más elevada, más cercana a la costa y ubicada más al norte (por ejemplo, el Valle Willamette). Sin embargo, la región más cálida V está ubicada en el valle central del estado de California (como el Valle de San Joaquín; fig. 5). De media, durante el período de 1980-2003, el 34 % de la parte occidental de Estados Unidos comprende regiones de I-V, el 59 % de las cuales son demasiado frías (<1111 unidades °C) y el 7 % demasiado calurosas (>2778 unidades °C). Si se separan en regiones individuales, se calcula que la región I abarca el 34,2 %, la región II el 20,8 %, la región III el 11,1 %, la región IV el 8,7 % y la región V el 25,2 %. Por tanto, las regiones occidentales estadounidenses se sitúan predominantemente en los márgenes de idoneidad, con un porcentaje del 59,4 % distribuido tanto en las regiones más frías como en las más calurosas (regiones I y V, respectivamente).

Los pronósticos sobre el aumento de las temperaturas a lo largo de las temporadas de crecimiento proporcionados por el CCSM, el cual sitúa dicho aumento entre 1,0 °C y 3,0 °C para el año 2049, reflejan alteraciones en grados-día de desarrollo de entre el 15 y el 30 % (fig. 5). Si en el 2049 se produce un aumento de 1 °C (aproximadamente un aumento del 15 % en grados-día de desarrollo), la zona occidental de Estados Unidos, que incluye todas las regiones climatológicas (I-V), sufrirá un incremento del 5 %, es decir que pasará del 34 % al 39 %. Si, en cambio, el calentamiento es de 3 °C (alrededor de un aumento del 30 % en grado-día de desarrollo) sufrirán un incremento del 9 %, pasando así al 43 %. En conjunto, los cambios muestran una reducción en regiones muy frías, pasando del 59 % al 41 %, y un incremento en regiones muy calurosas del 7 % al 16 %, en el caso de mayor calentamiento.<sup>45</sup> De forma similar, cada región de forma individual, también sufrirá alteraciones, especialmente la región I (de 34,2 % a 40,6 %). La región II notará ciertos cambios (de 20,8 % a 23,4 %), al igual que la región III (11,1 % a 14,2 %) y la región IV (de 8,7 % a 10,1 %). La región V sufrirá una reducción, pasando del actual 25,2 % al 11,6 %. En términos de espacio, las regiones que se verán más afectadas serán aquellas ubicadas en la costa, especialmente en el estado de California, y en las zonas más elevadas (en las Montañas de Sierra Nevada). Otras zonas, en cambio, revelan cambios de región Winkler a gran escala (por ejemplo, el Valle Willamette ya no se incluirá en la región I sino en la región II).



**Figura 5.** Las regiones Winkler de la zona oeste de Estados Unidos basadas en una resolución diaria de 1 km de Daymet sobre los datos de las temperaturas diarias (grados-día de desarrollo, base: 10° C entre el período abril y octubre).<sup>43</sup> El panel izquierdo representa la media durante el período de 1980-2003. El panel del centro es un pronóstico del aumento de las temperaturas en 1 °C durante este mismo período (alcance, relativamente pequeño, del cambio climático para el año 2049). El panel derecho es un pronóstico del aumento de las temperaturas de 3 °C a lo largo de dicho período (alcance, relativamente grande, del cambio climático para el año 2049).

En otro análisis regional de la costa oeste de Estados Unidos,<sup>46</sup> se examinó el impacto del cambio climático en la cosecha de hoja perenne en California. La investigación utilizó resultados de varios modelos climáticos (que sometían a prueba la incertidumbre climática) y múltiples modelos estadísticos (que sometían a prueba la incertidumbre de la respuesta del cultivo) para examinar almendros, nogales, aguacates, vides y uva de mesa. Los resultados de los modelos climáticos muestran una subida de las temperaturas de ~1,9-3 °C para el año 2050 y de 2-6 °C para el año 2100. También reflejan alteraciones de las precipitaciones de un -40 % a +40 % para el 2050 y el 2100. Las vides mostraron la menor disminución de su cosecha teniendo en cuenta los demás cultivos. En contraste, sí registraron alteraciones espaciales significativas, desplazándose así de la costa a zonas más septentrionales. Los autores también indican que las tendencias de cosecha no sufren tanto las alteraciones climáticas y son más propensas a sufrir cambios tecnológicos además de un aumento en la cantidad de CO<sup>2</sup>. Otro estudio regional realizado en Europa<sup>32,33,47</sup>, Australia<sup>15,16</sup> y Suráfrica<sup>7</sup> ha examinado el cambio climático a través de distintos enfoques aunque los resultados han sido similares.

## Los pronósticos en Europa y España

Kenny y Harrison realizaron modelos espaciales sobre el impacto del cambio climático en la viticultura europea y demostraron alteraciones y/o expansiones significativas en la geografía de las regiones productoras de vino en partes del sur de Europa que, al parecer, van a tener climas demasiado calurosos para producir vinos de alta calidad.<sup>32</sup> También determinaron que las regiones más septentrionales volverían a ser idóneas para tal actividad. Al examinar los cambios en el índice de Huglin sobre la idoneidad de la actividad viticultora en Europa<sup>48</sup>, Stock mostró un aumento de entre 100 y 600 unidades que provocaban cambios latitudinales en nuevas zonas septentrionales.<sup>47</sup> Estas alteraciones hacían que estas regiones fueran ideales para la producción de vino. Al mismo tiempo, las regiones meridionales perdían viabilidad por el exceso de calor.

De forma más específica, Rodríguez y colaboradores examinaron las diversas perspectivas de emisión para establecer los límites después de los cambios en temperatura y precipitaciones en España.<sup>49</sup> También se evidenció un aumento de entre 0,4 °C y 0,7 °C por década, siendo mayor el calentamiento en verano que en invierno. En general, estas alteraciones provocarán un aumento de las temperaturas de entre 5 °C y 7 °C en el interior y de entre 3 °C y 5 °C en la costa. Además de estos pronósticos sobre la temperatura, Rodríguez y colaboradores señalan que las primaveras y los veranos serán mucho más secos y que las lluvias anuales irán en descenso<sup>49</sup>, las cuales resultarán menos homogéneas que la temperatura en el caso de España. Además, para examinar la respuesta del cultivo de uva al cambio climático, Lebon utilizó los resultados de un modelo para demostrar que el inicio del envero de la variedad syrah en el sur de Francia, que actualmente corresponde a la segunda semana de agosto, se adelantaría a la tercera semana de julio, cuyas temperaturas aumentarán 2 °C, y a la primera semana de julio, cuyas temperaturas aumentarán 4 °C. Además, la investigación demostró que el significativo calentamiento durante la maduración y, en especial por la noche, podría repercutir negativamente en el sabor y el color del fruto que, al fin y al cabo, definen el tipo de vino.<sup>50</sup>

En Australia, un trabajo analizó el impacto del cambio climático en la viticultura y demostró que las temperaturas en el año 2070 aumentarían en este país entre 1 y 6 °C.<sup>16</sup> Este calentamiento incrementa el número de días calurosos y disminuye el riesgo de heladas. Sin embargo, las alteraciones en las precipitaciones son más variables y beneficiosas, ya que son más frecuentes en la época de crecimiento y desarrollo. Los cambios pronosticados para Australia indican que la subida de temperaturas reducirá la calidad del vino y producirá alteraciones espaciales, de forma que las regiones septentrionales y costeras serán las más afectadas. En Suráfrica, los pronósticos sobre el aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones suponen todo un problema, tanto para el desarrollo fenológico de las vides como para la necesidad de encontrar fuentes de agua.<sup>51</sup> La investigación insinúa que la actividad viticultora en Suráfrica se convertirá en arriesgada además de costosa, de forma que deberán acudir a nuevas prácticas para distribuir unas reservas de agua cada vez más limitadas. El autor apunta que la situación agravará otros problemas económicos, como por ejemplo un aumento de los precios del vino, una disminución del número de viticultores y una necesidad para implantar estrategias aún desconocidas y, por supuesto, muy costosas.<sup>51</sup>

Todas estas investigaciones, como las descritas anteriormente, indican que los obstáculos a los que se deberá enfrentar la industria vinícola incluyen: un desarrollo fenológico más rápido, alteraciones en ubicaciones ideales en el caso de ciertas variedades, una reducción de cosechas de vinos de alta calidad y nuevas estrategias para gestionar los escasos recursos de agua.

## **Visión general y consecuencias**

A partir de datos históricos, es evidente que el clima terrestre ha variado y cambiado tanto a pequeña como a gran escala.<sup>21,22</sup> Estas alteraciones han beneficiado a muchos sistemas agrícolas, incluyendo el de la viticultura, y en especial al relacionado con la producción vinícola, ya que los pequeños cambios climáticos han proporcionado nuevas zonas geográficas idóneas para tal actividad. El calentamiento experimentado durante los últimos cincuenta años parece haber beneficiado a varias regiones viticultoras, ya que las temporadas de crecimiento son más largas y cálidas, lo cual evita cualquier riesgo de heladas. Sin embargo, se ha demostrado que la tendencia será más influyente en zonas septentrionales, pues las variedades existentes disfrutarán de un clima más cálido y viable. Así, estas regiones olvidadas volverán a renacer. En el otro extremo, las regiones cálidas han experimentado un aumento en la temperatura y la sequedad, lo cual dificulta la producción de frutos maduros equilibrados. Conjuntamente, el aumento de la temperatura ha conllevado la producción de tecnología más eficiente, de materiales mejores y de una gestión de los viñedos más efectiva. Sin embargo, los pronósticos sobre el impacto del cambio climático indican que su magnitud será más rápida y mayor que nuestra capacidad de adaptarnos y desarrollar avances en la genética y el cultivo agrícolas.<sup>52, 53</sup>

En conjunto, el cambio climático es uno de los problemas científicos más estudiados y debatidos hoy en día. Aunque a partir de los datos históricos, resulta evidente que los cambios climáticos forman parte de ajustes naturales de fuerzas internas y externas, cada vez existen más pruebas que demuestran que el impacto humano está perjudicando al clima. Gracias a procesos como la desertificación, la deforestación y la urbanización ilimitada que no respeta el equilibrio de las fuerzas terrenales, se producen cambios en la composición atmosférica, lo cual fomenta el efecto invernadero. Por esta razón, nuestra implicación en el cambio climático va en aumento. A partir de lo recogido por el último Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático<sup>54</sup>, las siguientes afirmaciones expresan nuestro estado actual de conocimiento:

*El calentamiento del sistema climático es claro, pues las observaciones han demostrado un aumento en las temperaturas medias del océano y del aire, una expansión del deshielo y un incremento del nivel del mar a escala mundial.*

*La mayoría de los aumentos observados de las temperaturas medias a escala mundial desde mediados del siglo XX se deben al incremento de las concentraciones de gases invernadero antropogénicos. Actualmente, las influencias humanas perceptibles se extienden a otros aspectos del clima, incluyendo el calentamiento del océano, las temperaturas medias continentales, las temperaturas extremas y los patrones de viento.*

*El calentamiento antropogénico y el crecimiento del nivel del mar seguirán aumentando durante siglos debido a escalas asociadas con los procesos climáticos y a la retroalimentación, incluso aunque las concentraciones de gases invernadero se estabilizaran.*

Con este conocimiento, el papel de la sociedad debería cambiar, dejando así las dudas, las culpas o las atribuciones a un lado y abriendo la puerta a la mitigación y adaptación. Mientras la industria vinícola tiene carta blanca para mitigar el uso de combustibles fósiles y transformar el carbón a través de procesos más eficientes en lo referente a la producción de vino, tal reacción debe realizarse mediante la adaptación. Sabemos que para producir vino de calidad, las vides sólo pueden cultivarse en ciertas zonas que gocen de unas determinadas condiciones climatológicas. Por eso, todo depende de la ubicación actual de una región en términos de clima y de magnitud del futuro aumento de las temperaturas. Las observaciones y los modelos indican que uno de los problemas más importantes para la industria del vino será decidir si, con el aumento de las temperaturas, la variedad producida alcanzará el equilibrio y maduración deseados o si, por el contrario, se verán obligados a cambiar la variedad o la ubicación para seguir produciendo la misma variedad de vino. Volviendo a la figura 1, la idoneidad varietal permite un aumento de entre 2 y 3 °C. Sin embargo, los pronósticos sobre los cambios de temperatura que afectarán a las regiones vinícolas de todo el mundo varían entre 1 °C y 7 °C. Dependiendo de la subida de temperatura en cada región, la idoneidad también se verá alterada.

Mientras la mayor parte del debate se ha centrado en los impactos relacionados con la temperatura, existen otros problemas significativos que perjudican a la calidad de la uva y al vino, los cuales incluyen una alteración en el crecimiento de la vid provocado por una concentración atmosférica de CO<sup>2</sup> mayor, una reducción de la humedad en regiones que carecen de agua y cambios en la presencia o frecuencia de plagas y enfermedades que afectan a las vides. Incluso con toda esta información al alcance, aún existe mucha incertidumbre alrededor de la naturaleza espacial y temporal del cambio climático. Por esta razón, la industria vinícola tendrá la obligación de ser proactiva en el momento de evaluar el impacto, de estar preparada para implementar estrategias de adaptación apropiadas, de estar dispuesta a alterar variedades o prácticas de gestión o de mitigar las diferencias en la calidad del vino mediante el desarrollo de nuevas tecnologías. Sin embargo, el mayor desafío de adaptación será, probablemente, el de reaccionar culturalmente a los cambios en realidades regionales.

Aunque en este momento, los cambios espaciales exactos que producirá el clima en el futuro son aún especulativos, lo que resulta absolutamente evidente a partir de los datos es que los climas del futuro, tanto a largo como a corto plazo, serán muy diferentes de los actuales. Tenemos dos opciones: o no hacer nada al respecto, en lo referente al cultivo de vides, o actuar. Serán precisamente esos sectores agrícolas más conscientes del problema los que experimentarán con nuevas tecnologías y métodos relacionados con el cultivo de plantas, con la genética de las mismas, con la tierra o con el proceso, y, de este modo, lograrán el mayor grado de adaptación.

## Agradecimientos

Este artículo representa una visión general del trabajo de muchos individuos y el autor desearía reconocer a cada uno de ellos por aportar su obra y conocimiento. Algunos de los trabajos a los que el autor hace referencia aún están en proceso de elaboración, revisión o a punto de publicación y pronto estarán disponibles. Los datos de Jones et al. (2005)<sup>24</sup> fueron proporcionados por el proyecto LINK sobre Impactos Climáticos (DEFRA contract EPG 1/1/24) en nombre del Centro Hadley y la Oficina Meteorológica Británica, quienes facilitaron los datos HADCM3.

## Bibliografía

1. Johnson, H. *El vino: Nuevo atlas mundial*. Naturart S.A., Barcelona, 2003.
2. Penning-Roswell, E. *Wines of Bordeaux*. Penguin Books, Londres/Nueva York, 1989.
3. Unwin, T. *Wine and the Vine: An Historical Geography of Viticulture and the Wine Trade*. Routledge, Londres/Nueva York, 1991.
4. IPCC, Houghton J.T. et al. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of the Working Group I to the Third Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, 2001.
5. Karl, T.R. et al.: «A new perspective on global warming: Asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature», *Bulletin of the American Meteorological Society* 1993; 74: 1007-1023.
6. Easterling, D.R. et al.: «Observed variability and trends in extreme climate events: A brief review», *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 2000; 81: 417-425.
7. Carter, T.R.; Parry, M.L. y Porter, J.H.: «Climatic change and future agroclimatic potential in Europe», *Int. J. Climatol.* 1991; 11: 251-269.
8. Menzel, A. y Fabian, P.: «Growing season extended in Europe», *Nature* 1999; 397: 659.
9. Nemani, R.R.; White, M.A.; Cayan, D.R.; Jones, G.V.; Running, S.W. y Coughlan, J.C.: «Asymmetric climatic warming improves California vintages», *Climate Research* 2001; 19 (1): 25-34.
10. Moonen, A.C.; Ercoli, L.; Mariotti, M. y Masoni, A.: «Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years», *Agri. Forest Meteorol.* 2002; 111: 13-27.
11. Jones, G.V.: «Climate change in the western United States grape growing regions», *Acta Horticulturae* (ISHS) 2005; 689: 41-60.
12. Gladstones, J. *Viticulture and Environment*. Winetitles, Adelaida, Australia, 1992.
13. Jones, G.V.: «Climate and Terroir: Impacts of Climate Variability and Change on Wine», En: *Fine Wine and Terroir - The Geoscience Perspective*. Macqueen, R.W. y Meinert, L.D. (eds.). Geoscience Canada Reprint Series Number 9, Geological Association of Canada, St. John's, Terranova, Canadá, 2006.
14. Duchêne, E. y Schneider, C.: «Grapevine and climatic changes: a glance at the situation in Alsace», *Agron. Sustain. Dev.* 2005; 24: 93-99.
15. McInnes, K.L.; Whetton, P.H.; Webb, L. y Hennessy, K.J.: «Climate change projections for Australian viticultural regions», *The Australian and New Zealand Grapegrower and Winemaker* 2003; febrero: 40-47.
16. Webb, L.B.; Whetton, P.H. y Barlow, E.W.R.: «Impact on Australian Viticulture from Greenhouse Induced Temperature Change». En: Zerger, A. y Argent, R.M. (eds.) *MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation*. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, diciembre 2005, pp. 170-176.
17. Godden, P. y Gishen, M.: «Trends in the composition of Australian wine», *The Australian and New Zealand Wine Industry Journal* 2005; 20 (5): 21-46.
18. Vierra, G.: «Pretenders at the Table – Are table wines no longer food friendly?», *Wine Business Monthly* 2004; 11 (7).
19. Jones, G.V.: «How Hot is Too Hot?», *Wine Business Monthly* 2005; 12 (2).
20. Jones, G.V.; Goodrich, G.B. y J. Miller: «Influences of Climate Variability on the U.S. West Coast Wine Regions and Wine Quality in the Napa Valley» (en prensa)

21. Le Roy Ladurie, E. *Times of Feast, Times of Famine: A History of Climate Since the Year 1000*. Doubleday, Garden City, Nueva York, 1971.
22. Pfister, C.: «Variations in the spring-summer climate of central Europe from the High Middle Ages to 1850». En: *Long and Short Term Variability of Climate*, H. Wanner and U. Siegenthaler (eds.), pp. 57-82. Springer-Verlag, Berlín, 1988.
23. Chuine, I.; Yiou, P.; Viovy, N.; Seguin, B.; Daux, V. y Le Roy Ladurie, E.: «Grape Ripening as a Past Climate Indicator», *Nature* 2004; 432: 289-290.
24. Jones, G.V.; White, M.A.; Cooper, O.R. y Storchmann, K.: «Climate Change and Global Wine Quality», *Climatic Change* 2005; 73 (3): 319-343.
25. Stevenson, T. *New Sothebys Wine Encyclopedia: A Comprehensive Reference Guide to the Wines of the World*. Dorling Kindersley, Londres, 2001.
26. Mazur, M.: «Wine Enthusiast's 2002 Vintage Chart», *The Wine Enthusiast Magazine* 2002 (<http://www.winemag.com/vintage.cfm>).
27. Jones, G.V. y Davis, R.E.: «Climate Influences on Grapevine Phenology, Grape Composition, and Wine Production and Quality for Bordeaux, France», *Am. J. Viti. Enol.* 2000; 51: 249-261.
28. Jones, G.V.; Duchene, E.; Tomasi, D. et al.: «Changes in European Winegrape Phenology and Relationships with Climate», *GESCO* 2005.
29. Jones, G.V.: «Structure and trends in wintertime extreme minimum temperatures in eastern Washington and the Niagara region of Canada» (en proceso).
30. Wolfe, D.W.; Schwartz, M.D.; Lakso, A.N.; Otsuki, Y.; Pool, R.M. y Shaulis, N.J.: «Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in northeastern USA», *International Journal of Biometeorology* 2005; 49 (5): 303-309.
31. Lough, J.M.; Wigley, T.M.L. y Palutikof, J.P.: «Climate and climate impact scenarios for Europe in a warmer world», *J. Clim. Appl. Meteorol.* 1983; 22: 1673-1684.
32. Kenny, G.J. y Harrison, P.A.: «The effects of climate variability and change on grape suitability in Europe», *Journal of Wine Research* 1992; 3: 163-183.
33. Butterfield, R.E.; Gawith, M.J.; Harrison, P.A.; Lonsdale, K.J. y Orr, J.: «Modeling climate change impacts on wheat, potato and grapevine in Great Britain». En: *Climate Change, Climate Variability and Agriculture in Europe: An Integrated Assessment*. Environmental Change Institute, University of Oxford, 2000.
34. Bindi, M.; Fibbi, L.; Gozzini, B.; Orlandini, S. y Miglietta, F.: «Modeling the Impact of Future Climate Scenarios on Yield and Variability of Grapevine», *Clim. Res.* 1996; 7: 213-224.
35. Tate, A.B.: «Global warming's impact on wine», *J. Wine Res.* 2001; 12: 95-109.
36. Renner, B.: «The shape of things to come», *Wine and Spirit* 1989, diciembre: 55-57.
37. Schultz, H.R.: «Climate change and viticulture: a European perspective on climatology, carbon dioxide, and UV-B effects», *Aust. J. Grape and Wine Res.* 2000; 6: 2-12.
38. de Blij, H.J.: «Geography of viticulture: rationale and resource», *J. Geog.* 1983; 82: 112-121.
39. Gladstones, J.: «Climate and Australian Viticulture». En: *Viticulture I – Resources*, Dry, P.R. y Coombe, B.G. (eds.). Winetitles, Goodwood, Australia, 2005.
40. Jones, G.V.: «Spatial Changes in Global Viticulture Zones» (en proceso).
41. Pope, V.D.; Gallani, M.L.; Rowntree, P.R. y Stratton, R.A.: «The impact of new physical parameterizations in the Hadley Centre climate model», *Clim. Dyn.* 2000; 16: 123-146.
42. White, M.A.; Diffenbaugh, N.S.; Jones, G.V.; Pal, J.S. y Giorgi, F.: «Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century», *Proceedings of the National Academy of Sciences* 2006; 103 (30): 11217-11222.
43. Amerine, M.A. y Winkler, A.J.: «Composition and quality of musts and wines of California grapes», *Hilgardia* 1944; 15: 493-675.
44. Thornton, P.E.; Running, S.W. y White, M.A.: «Generating surfaces of daily meteorology variables over large regions of complex terrain», *J. Hydrol.* 1997; 190: 214-251.
45. Jones, G.V.; Myers, J.; White, M.A. y Surbey, S.: «Reanalysis of Winkler Regions for the Western United States» (en proceso).
46. Lobell, D.B.; Field, C.B.; Cahill, K.N. y Bonfils: «Impacts of future climate change on California perennial crop yields: Model projections with climate and crop uncertainties», *Agricultural and Forest Meteorology* 2006; 141 (2-4): 208-218.
47. Stock, M.: «Klimaveränderungen fordern die Winzer - Bereitschaft zur Anpassung ist erforderlich», *Geisenheimer Berichte* 2005, Band 57: 29-48.
48. Huglin, P.: «Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole», *C.R. Acad. Agr. France* 1978: 1117-1126.

49. Rodríguez, J.M. et al.: «Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por el efecto del cambio climático», Proyecto ECCE, Ministerio de Medio Ambiente y Universidad de Castilla-La Mancha, 2005.
50. Lebon E.: «Changements climatiques: quelles conséquences pour la viticulture», CR 6ième Rencontres Rhodaniennes, pp. 31-36, 2002.
51. Carter, S.: «The Projected Influence of Climate Change on the South African Wine Industry». *Interim Report IR-06-043*. International Institute for Applied Systems Analysis. 33 pp.
52. Bisson, L.F.; Waterhouse, A.L.; Ebeler, S.E.; Walker, M.A. y Lapsley, J.T.: «The present and future of the international wine industry», *Nature* 2002; 418: 696-699.
53. Vivier, M.A y Pretorius, I.S.: «Genetically tailored grapevines for the wine industry», *Trends in Biotechnology* 2002; 20 (11): 472-478.
54. IPCC. Alley R. et al., *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers. Contribution of the Working Group I to the Fourth Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC Secretariat 2007 (<http://www.ipcc.ch/>)