



Departamento de Economía y Ciencias Sociales Agrarias  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos  
Universidad Politécnica de Madrid



# **Viticultura y Cambio Climático en España: Vulnerabilidad en las distintas regiones y estrategias de adaptación frente al desarrollo de nuevas políticas**

Tesis Doctoral  
Pablo Resco Sánchez  
Ingeniero Agrónomo

Madrid 2015





Departamento de Economía y Ciencias Sociales Agrarias  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos  
Universidad Politécnica de Madrid



# **Viticultura y Cambio Climático en España: Vulnerabilidad en las distintas regiones y estrategias de adaptación frente al desarrollo de nuevas políticas**

Tesis Doctoral

Pablo Resco Sánchez  
Ingeniero Agrónomo

Directores

Ana Iglesias Picazo  
Dr. Ingeniero Agrónomo

Vicente Sotés Ruiz  
Dr. Ingeniero Agrónomo

Madrid 2015





CAMPUS  
DE EXCELENCIA  
INTERNACIONAL

Tribunal nombrado por el Sr. Rector Magfco. de la Universidad Politécnica de Madrid,  
el día ..... de ..... de 201...

Presidente: .....

Vocal: .....

Vocal: .....

Vocal: .....

Secretario: .....

Suplente:.....

Suplente: .....

Realizado el acto de defensa y lectura de la Tesis el día ..... de ..... de 201...  
en la E.T.S.I./Facultad .....

Calificación.....

EL PRESIDENTE

LOS VOCALES

EL SECRETARIO



A miña nai ciña

Que me quentou a cariña

Co calorciño da súa



ÍNDICE

<b>ÍNDICE</b> .....	<b>I</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>viii</b>
<b>Resumen</b> .....	<b>xi</b>
<b>Summary</b> .....	<b>xii</b>
<b>Agradecimientos</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Lista de Abreviaciones</b> .....	<b>xiv</b>
<b>1. Motivación y objetivos</b> .....	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema .....	1
1.2. Objetivos .....	2
1.3. Estructura de la Tesis .....	3
<b>2. Antecedentes</b> .....	<b>5</b>
2.1. La viticultura en España .....	5
2.1.1. La viticultura en España a través de la historia .....	5
2.1.2. La viticultura en la Política Agrícola Común .....	7
2.1.3. Situación actual e importancia económica y social de la viticultura .....	12
2.2. El Cambio Climático .....	21
2.2.1. Modelos climáticos .....	24
2.2.2. Escenarios de Cambio Climático .....	25
2.2.3. Escenarios de la Oficina Española de Cambio Climático .....	26
2.3. Efectos de las variables climáticas en la producción vitícola .....	28
2.3.1. Efecto de las variables climáticas .....	29
2.3.2. Adversidades causadas por extremos climáticos .....	32
2.4. Vulnerabilidad de la producción vitícola al cambio climático .....	35
2.4.1. Los impactos en la agricultura .....	35
2.4.2. Estudios previos de vulnerabilidad en viticultura .....	40
2.5. Estrategias y capacidad de adaptación de la viticultura .....	42
<b>3. Metodología y datos</b> .....	<b>47</b>
3.1. Zonas de estudio .....	48
3.2. Datos climáticos .....	51
3.3. Índices de riesgo de extremos climáticos .....	55
3.3.1. Olas de calor .....	55

3.3.2.	Heladas.....	56
<b>3.4.</b>	<b>Índices climáticos de producción y calidad.....</b>	<b>56</b>
<b>3.5.</b>	<b>Análisis de datos.....</b>	<b>60</b>
3.5.1.	Generación de series temporales de las variables climáticas .....	61
3.5.2.	Análisis de la frecuencia de eventos climáticos extremos .....	62
3.5.3.	Índices de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía.....	63
<b>3.6.</b>	<b>Esfuerzo de adaptación .....</b>	<b>65</b>
3.6.1.	Evaluación de las necesidades de adaptación.....	65
3.6.2.	Factores socioeconómicos en adaptación .....	68
<b>3.7.</b>	<b>Limitaciones del estudio .....</b>	<b>69</b>
<b>4.</b>	<b><i>Definición de riesgos debido a extremos climáticos .....</i></b>	<b>73</b>
<b>4.1.</b>	<b>Objetivos y metodología.....</b>	<b>73</b>
<b>4.2.</b>	<b>Principales riesgos causados por adversidades climáticas en la actualidad.....</b>	<b>73</b>
<b>4.3.</b>	<b>Cambios en la exposición al riesgo de olas de calor.....</b>	<b>77</b>
4.3.1.	Días con temperatura máxima mayor de 35 °C .....	78
4.3.2.	Días con temperatura máxima mayor de 40 °C .....	83
<b>4.4.</b>	<b>Riesgo de heladas.....</b>	<b>88</b>
<b>4.5.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>96</b>
<b>5.</b>	<b><i>Estimaciones probabilísticas de la producción y calidad .....</i></b>	<b>99</b>
<b>5.1.</b>	<b>Objetivos y Métodos .....</b>	<b>99</b>
<b>5.2.</b>	<b>Tendencia de los índices .....</b>	<b>99</b>
<b>5.3.</b>	<b>Variabilidad interanual en los escenarios.....</b>	<b>108</b>
<b>5.4.</b>	<b>Evaluación de la magnitud en los cambios del potencial vitícola .....</b>	<b>113</b>
<b>5.5.</b>	<b>Territorio afectado por los cambios en los valores medios de los índices .....</b>	<b>115</b>
<b>5.6.</b>	<b>Zonas con alto potencial climático para la viticultura.....</b>	<b>118</b>
<b>5.7.</b>	<b>Zonas con bajo potencial climático para la viticultura .....</b>	<b>120</b>
<b>5.8.</b>	<b>Zonificación e incertidumbre en función del potencial climático para la viticultura en cada una de las DOP.....</b>	<b>121</b>
<b>5.9.</b>	<b>Variación de los índices y variabilidad de los resultados .....</b>	<b>126</b>
<b>5.10.</b>	<b>Incertidumbre en el impacto del Cambio Climático en el potencial vitícola. ....</b>	<b>130</b>
<b>5.11.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>133</b>
<b>6.</b>	<b><i>Priorización del esfuerzo de adaptación .....</i></b>	<b>136</b>
<b>6.1.</b>	<b>Objetivos y métodos.....</b>	<b>136</b>
<b>6.2.</b>	<b>Priorización de las necesidades de adaptación.....</b>	<b>137</b>

6.2.1.	Región I.....	139
6.2.2.	Región II.....	140
6.2.3.	Región III.....	141
6.2.4.	Región IV .....	142
<b>6.3.</b>	<b>Estrategias de adaptación en la viticultura.....</b>	<b>143</b>
<b>6.4.</b>	<b>Capacidad de adaptación y vulnerabilidad .....</b>	<b>145</b>
6.4.1.	Clasificación de zonas según su capacidad de adaptación actual .....	145
6.4.2.	Otros factores que pueden influir en la vulnerabilidad .....	153
<b>6.5.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>155</b>
<b>7.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>158</b>
7.1.	Conclusiones generales .....	158
7.2.	Aportaciones originales de la Tesis .....	162
7.3.	Futuras líneas de investigación .....	163
<b>8.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>164</b>
<b>Anejos .....</b>	<b>180</b>	
Anejo 1.	Cálculo de la evapotranspiración.....	180
Anejo 2.	Cálculo del riesgo de siniestralidad en base a las primas de riesgo .....	192

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Objetivos y estructura de la Tesis.....	3
Figura 2. Evolución del número de hectáreas de regadío en España y Castilla-La Mancha (elaboración propia con datos de MAGRAMA) .....	10
Figura 3. Cálculo sobre el efecto del arranque y del aumento del rendimiento en la producción vitivinícola de España, Francia e Italia (TCE 2012) .....	11
Figura 4. Evolución del destino final del vino en España (elaboración propia con datos del MAGRAMA).....	12
Figura 5. Superficie de viñedo en España por CCAA en 2014 (elaboración propia con datos del MAGRAMA) .....	13
Figura 6. Evolución de los ingresos del sector agrario (elaboración propia con datos de MAGRAMA) .....	17
Figura 7. Evolución mundial de las exportaciones en volumen (elaboración propia con datos OIV).....	18
Figura 8. Evolución Mundial de las exportaciones en valor (elaboración propia con datos OEMV).....	19
Figura 9. Evolución de las exportaciones por tipos de vino (elaboración propia con datos de DataComex) .....	20
Figura 10. Evolución Mundial de los precios del vino (Elaboración propia con datos OEMV).....	20
Figura 11. Exportaciones Españolas por destino en 2014 en millones de euros (elaboración propia con datos de DataComex).....	21
Figura 12. Concentraciones atmosféricas de CO2 en los últimos 1000 años (a) y en el periodo 1950-2000 (b) (IPCC, 2014) .....	22
Figura 13 La rejilla regular de 0.2° (aproximadamente 25 km <sup>2</sup> ) utilizada para el proyecto Spain 02 (Herrera et al., 2012) .....	27
Figura 14 Comparación datos medios para España entre las proyecciones de EsTcena, ESCENA y ENSEMBLES (Gutiérrez et al., 2012) .....	28
Figura 15 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).....	33
Figura 16. Percepción del riesgo por los agricultores en España (IKERFEL, 2009).....	34
Figura 17 Resumen de algunos de los principales factores que afectan a la vulnerabilidad de la viticultura al Cambio Climático. ....	44
Figura 18. Marco metodológico .....	48
Figura 19. Regiones y Denominaciones de Origen Protegidas incluidas en el trabajo.....	50
Figura 20. Dominio de la simulación usados por el proyecto ESCENA (Fernández et al., 2008) .....	54

<b>Figura 21. Riesgo de siniestralidad por pedrisco en una parcela dentro de las comarcas pertenecientes a las DOP .....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 22. Riesgo de siniestralidad por helada por parcela (en vaso) dentro de las comarcas pertenecientes a las DOP .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 23. Riesgo de siniestralidad por helada en una parcela (en espaldera) dentro de las comarcas pertenecientes a las DOP .....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 24. Variación en número de días con Tmax &gt; 35 °C para la media de las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000 ....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 25. Media del incremento del número de días con Tmax &gt; 35 °C para las 19 proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000 ....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 26. Variación en número de días con Tmax &gt; 40 °C para la media de las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000 ....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 27. Media del incremento del número de días con Tmax &gt; 40 °C para las 19 proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000 ....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 28. Variación en número de años con Tmax &gt; 40 °C para la media de las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000 ....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 29. Media del incremento del número años con días con Tmax &gt; 40 °C para las 19 proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al de control 1971-2000 .....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 30. Variación del número de días con heladas para las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000.....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 31. Media de la variación del número días con Tmin &lt; 0 °C para las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000 ....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 32. 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.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 33. Media de la variación en días de la fecha de última helada para las 19 proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000 ....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 34. Resultado de estudio de tendencia de las variaciones del índice de Huglin para las proyecciones climáticas del proyecto ESCENA. Los puntos representan la media anual de todas las 19 proyecciones climáticas, la línea roja representa la media móvil quinquenal de los datos anuales, la línea negra la línea de tendencia de la media móvil decenal para el periodo 2001-2050 y la azul la línea de tendencia de la media móvil decenal para el periodo 2021-2050 .....</b>	<b>105</b>
<b>Figura 35. Resultado de estudio de tendencia de las variaciones del índice de Frescor Nocturno para las proyecciones climáticas del proyecto ESCENA. Los puntos representan la media anual de todas las 19 proyecciones climáticas, la línea roja representa la media móvil quinquenal de los datos anuales, la línea negra la línea de tendencia de la media móvil decenal para el periodo 2001-2050 y la azul la línea de tendencia de la media móvil decenal para el periodo 2021-2050.....</b>	<b>106</b>

<b>Figura 36. Resultado de estudio de tendencia de las variaciones del Índice de Sequía para las proyecciones climáticas del proyecto ESCENA. Los puntos representan la media anual de todas las 19 proyecciones climáticas, la línea roja representa la media móvil quinquenal de los datos anuales, la línea negra la línea de tendencia de la media móvil decenal para el periodo 2001-2050 y la azul la línea de tendencia de la media móvil decenal para el periodo 2021-2050 .....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 37. Porcentaje de distintos modelos climáticos en el periodo (2021-2050) donde la variabilidad interanual es mayor que en el periodo de clima de referencia (1971-2000) en las DOP .....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 38. Variación de la desviación estándar del índice de Huglin anual para cada las proyecciones climáticas del periodo 2021-2050 respecto al 1971-2000 .....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 39. Variación de la desviación estándar del índice de Frescor Nocturno anual para las proyecciones climáticas del periodo 2021-2050 respecto al 1971-2000 .....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 40. Variación de la desviación estándar del índice de Sequía anual para las proyecciones climáticas del periodo 2021-2050 respecto al 1971-2000 .....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 41. 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) .....</b>	<b>114</b>
<b>Figura 42. Clasificación climática para 2021-2050 según el índice Huglin, Frescor Nocturno y sequía para las proyecciones en los escenarios de emisiones A1B, A2 y B1 .....</b>	<b>115</b>
<b>Figura 43. 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 .....</b>	<b>116</b>
<b>Figura 44. 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 .....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 45. Cambios en el porcentaje de superficie de viñedo que corresponden a los distintos niveles de índice de Sequía en el periodo 1971-2000 y en el periodo de Cambio Climático 2021-2050 con la media de los 19 escenarios .....</b>	<b>117</b>
<b>Figura 46. 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 .....</b>	<b>119</b>
<b>Figura 47. 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 .....</b>	<b>120</b>

<b>Figura 48. 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 .....</b>	<b>121</b>
<b>Figura 49. Cambios en los valores absolutos de los índices de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía en el periodo 1971-2000 y en el periodo de Cambio Climático 2021-2050 con la media de los 19 escenarios.....</b>	<b>127</b>
<b>Figura 50. Rango de anomalías de los índices agroclimáticos del viñedo en condiciones de Cambio Climático en el 2021-2050 respecto al clima de control. Derivado del uso de 19 proyecciones climáticas para 56 DOP. El cambio en el valor medio de cada uno de los índices para todas las proyecciones está representado por las cajas de la figura donde se indican el percentil 25, la media y el percentil 75. Las líneas negras se extienden desde el 5 al percentil 95 de las proyecciones .....</b>	<b>129</b>
<b>Figura 51. Incremento del índice de Huglin correspondientes percentiles 95 % en a), 50 % en b) y 5 % en c) respectivamente para los 19 escenarios climáticos en las DOP ..</b>	<b>131</b>
<b>Figura 52. Incremento del índice de Frescor Nocturno correspondientes percentiles 95 % en a), 50 % en b) y 5 % en c) respectivamente para los 19 escenarios climáticos en las DOP.....</b>	<b>132</b>
<b>Figura 53. Incremento del índice de Sequía correspondientes percentiles 95 % en a), 50 % en b) y 5 % en c) respectivamente para los 19 escenarios climáticos en las DOP ..</b>	<b>133</b>
<b>Figura 54. 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 .....</b>	<b>139</b>

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Número de explotaciones con viñedo, SAU por explotación y superficie de viñedo por explotación (MAGRAMA, 2015) .....	14
Tabla 2. Superficie de viñedo por Denominación de Origen Protegida en hectáreas (MAGRAMA, 2015).....	15
Tabla 3. Importancia vitivinícola en la producción agrícola (% de los valores totales EU-27 y principales Estados Miembros productores de vino) (Eurostat, 2015) .....	16
Tabla 4. Cifras de los principales indicadores de la industria vitícola en el año 2012 (INE 2015) .....	18
Tabla 5. Necesidades según los periodos de crecimiento (Resco et al., 2014).....	30
Tabla 6 Consecuencias de la variación diaria de la temperatura (Sotes, 2004) .....	31
Tabla 7. Series histórica de siniestralidad en el seguro por daños de helada en España (Agroseguro, 2009).....	34
Tabla 8. Efectos potenciales del Cambio Climático en la viticultura (Resco et al., 2014) .	38
Tabla 9. Matriz de proyecciones de ESCENA, con las distintas combinaciones MCG/MCR para las que están disponibles las variables. Cada cruz (+) representa 50 años de simulación: 1951-2000 (escenario de control o CTRL) o 2001-2050 (escenarios A1B, A2 y B1) (Fernández et al., 2012) .....	52
Tabla 10. Variables de salida del proyecto ESCENA. se muestra la máxima resolución temporal disponible: instantánea cada 3/6/12 horas (3h/6h/12h), instantánea diaria a las 0:00 horas (d0), promedio/acumulado/máximo/mínimo diario (d). las variables 3d es están disponibles en niveles de presión: (A) 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300 Y 100 HPA, (B) 1000, 925, 850 Y 700 HPA, (C) 850, 700 Y 500 HPA, (D) 1000, 850, 700 Y 500 HPA (Fernández et al., 2012).....	53
Tabla 11. Índices agroclimáticos usados en el Estudio (Tonnieto y Carbonneau, 2004)..	60
Tabla 12. Variables climáticas analizadas para el análisis de los cambios en algunos riesgos de la viticultura con el Cambio Climático .....	63
Tabla 13. Matriz para evaluar el esfuerzo de adaptación necesarios como resultado de los cambios proyectados por los escenarios de Cambio Climático en los índices de Huglin, Frescor Nocturno y de Sequía (1) (Resco et al., 2015).....	67
Tabla 14. Evaluación de los daños y siniestralidad en función del valor de la producción y de los principales riesgos contratados, donde PRR es la prima de riesgo recargada la TTR la tasa de riesgo recargada en millones de euros (Agroseguro, 2010) .....	74
Tabla 15. Registro de riesgo de siniestralidad estimados de eventos indemnizables (con descenso de producción respecto a la media de más del 30 %) para resto de adversidades. Estos riesgos están agrupados por grupos de riesgo (Agroseguro, 2015) .....	76

<b>Tabla 16. Variación en los valores del número de días con Tmax &gt; 35 °C, número de días con Tmax &gt; 40 °C y número de años con al menos 1 día con Tmax &gt; 40 °C entre los resultados de los modelos para 1971-2000 y los proyectados para 2021-2050 para los escenarios A1B, A2 y B1. Los resultados se expresan en forma de media y desviación estándar en los 19 escenarios .....</b>	<b>80</b>
<b>Tabla 17. Variación en los valores de fecha de última helada, número de días con Tmin &lt; 0 °C y entre los resultados de los modelos para 1971-2000 y los proyectados para 2021-2050 para los escenarios A1B, A2 y B1. Los resultados se expresan en forma de media y desviación estándar para los 19 escenarios .....</b>	<b>89</b>
<b>Tabla 18. Resultados del análisis de tendencia del índice de Huglin para el periodo 2001-2050 según los modelos climáticos utilizados, donde * indica niveles de significancia de 0,01 .....</b>	<b>100</b>
<b>Tabla 19. Resultados del análisis de tendencia del índice de Frescor Nocturno para el periodo 2001-2050 según los modelos climáticos utilizados, donde * indica niveles de significancia de 0,01 .....</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 20. Resultados del análisis de tendencia del índice de Sequía para el periodo 2001-2050 según los modelos climáticos utilizados, donde * indica niveles de significancia de 0,01 .....</b>	<b>102</b>
<b>Tabla 21. Valor del índice de Huglin en cada una de las DOP según los datos reales medios observados en el periodo 1971-2000; y la media, desviación estándar y valores máximos y mínimos de las 19 proyecciones delta para el periodo 2021-2050 .....</b>	<b>122</b>
<b>Tabla 22. Valor del índice de Frescor Nocturno en cada una de las DOP según los datos reales medios observados en el periodo 1971-2000; y la media, desviación estándar y valores máximos y mínimos de las 19 proyecciones delta para el periodo 2021-2050.....</b>	<b>123</b>
<b>Tabla 23. Valor del índice de Sequía en cada una de las DOP según los datos reales medios observados en el periodo 1971-2000; y la media, desviación estándar y valores máximos y mínimos de las 19 proyecciones delta para el periodo 2021-2050 .....</b>	<b>125</b>
<b>Tabla 24. Matriz de 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 de las 19 proyecciones. Los niveles se establecen en bajo (amarillo), medio (naranja) y alto (rojo), mientras que cuando no se produce un cambio en la clase de clima no se clasifican .....</b>	<b>138</b>
<b>Tabla 25. Índice de edad que recoge el grado aceptación de medidas a largo plazo realizado a partir de los datos de población agraria por edades del INE (2015). La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 0 se asigna a la región con menor</b>	

porcentaje de población activa agraria en ese rango de edad y 1 a la que tenga mayor porcentaje.....	146
<b>Tabla 26. Índice de educación realizado a partir de los datos de población agraria sin estudios de acuerdo con el INE (2015). La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 0 se asigna a la región con menor porcentaje de población activa agraria sin graduado y 1 a la región con mayor porcentaje .....</b>	<b>147</b>
<b>Tabla 27. Índice de exportación realizado a partir de los datos de exportaciones de DataComex (2015). La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 0 se asigna a la región con menor porcentaje de exportación del vino producido y 1 a la que tenga mayor porcentaje.....</b>	<b>148</b>
<b>Tabla 28. Índice de exportación realizado a partir de los datos de exportaciones de los años 2010-2014 extraídos de DataComex (2015). La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 0 se asigna a la región con mayor precio de exportación del vino y 1 a la región con el menor precio .....</b>	<b>149</b>
<b>Tabla 29. Índice del valor del vino obtenido a partir de los valores corrientes a precios básicos (Eurostat, 2015) y de la producción del vino (MAGRAMA, 2014). La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 0 se asigna a la región con mayor valor del vino hectárea y 1 a la que menos valor obtiene por hectárea .....</b>	<b>150</b>
<b>Tabla 30. Índice de percepción de riesgos climáticos, con datos del porcentaje de hectáreas de viñedo sin asegurar. La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 1 se asigna a la región con menor porcentaje de superficie de viñedo asegurada y 0 a la que cuente con mayor porcentaje de superficie asegurada .....</b>	<b>151</b>
<b>Tabla 31. Resumen de los índices de los índices de capacidad de adaptación. La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 0 representa el valor más alto en capacidad de adaptación y 1 el menor valor en cuanto a capacidad de adaptación .....</b>	<b>152</b>
<b>Tabla 32. Presupuesto en miles de euros para ayudas dentro del Programa de apoyo al sector vitivinícola recogido en el Reglamento 1308/2013 (MAGRAMA, 2014).....</b>	<b>155</b>

## **Resumen**

El presente trabajo realiza un análisis de la vulnerabilidad de la viticultura en España ante el Cambio Climático que contribuya a la mejora de la capacidad de respuesta del sector vitivinícola a la hora de afrontar los retos de la globalización.

Para ello se analiza el impacto que puede tener el Cambio Climático en primer lugar sobre determinados riesgos ocasionados por eventos climáticos adversos relacionados con extremos climáticos y en segundo lugar, sobre los principales índices agro-climáticos definidos en el Sistema de Clasificación Climática Multicriterio Geoviticultura (MCGG), que permiten clasificar las zonas desde un punto de vista de su potencial climático. Para el estudio de las condiciones climáticas se han utilizado los escenarios de Cambio Climático regionalizados del proyecto ESCENA, desarrollados dentro del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) con el fin de promover iniciativas de anticipación y respuesta al Cambio Climático hasta el año 2050.

Como parte clave del estudio de la vulnerabilidad, en segundo lugar se miden las necesidades de adaptación para 56 Denominaciones de Origen Protegidas, definidas por los impactos y de acuerdo con un análisis de sensibilidad desarrollado en este trabajo. De este análisis se desprende que los esfuerzos de adaptación se deberían centrar en el mantenimiento de la calidad sobre todo para mejorar las condiciones en la época de maduración en los viñedos de la mitad norte, mientras que en las zonas de la mitad sur y del arco mediterráneo, además deberían buscar mantener la productividad en la viticultura. Los esfuerzos deberían ser más intensos en esta zona sur y también estarían sujetos a más limitaciones, ya que por ejemplo el riego, que podría llegar a ser casi obligatorio para mantener el cultivo, se enfrentaría a un contexto de mayor competencia y escasez de recursos hídricos.

La capacidad de afrontar estas necesidades de adaptación determinará la vulnerabilidad del viñedo en cada zona en el futuro. Esta capacidad está definida por las propias necesidades y una serie de condicionantes sociales y de limitaciones legales, como las impuestas por las propias Denominaciones de Origen, o medioambientales, como la limitación del uso de agua. El desarrollo de estrategias que aseguren una utilización sostenible de los recursos hídricos, así como el apoyo de las Administraciones dentro de la nueva Política Agraria Común (PAC) pueden mejorar esta capacidad de adaptación y con ello disminuir la vulnerabilidad.

## **Summary**

This paper analyzes the vulnerability of viticulture in Spain on Climate Change in order to improve the adaptive capacity of the wine sector to meet the diverse challenges of globalization.

The risks to quality and quantity are explored by considering bioclimatic indices with specific emphasis on the Protected Designation of Origin areas that produce the premium winegrapes. The Indices selected represents risks caused by adverse climatic events related to climate extremes, and requirements of varieties and vintage quality in the case of those used in the Multicriteria Climatic Classification System. (MCCS). To study the climatic conditions, an ensemble of Regional Climate Models (RCMs) of ESCENA project, developed in the framework of the Spanish Plan for Regional Climate Change Scenarios (PNACC-2012) have been used

As a key part of the study of vulnerability risks and opportunities are linked to adaptation needs across the Spanish territory. Adaptation efforts are calculated as proportional to the magnitude of change and according to a sensitivity analysis for 56 protected designations of origin. This analysis shows that adaptation efforts should focus on improving conditions in the ripening period to maintain quality in the vineyards of the northern half of Iberian Peninsula, while in areas of the southern half and in the Mediterranean basin, also should seek to maintain productivity of viticulture. Therefore, efforts should be more intense in the Southern and Eastern part, and may also be subject to other limitations, such as irrigation, which could become almost mandatory to keep growing, would face a context of increased competition and lack of resources water.

The ability to meet these needs will determine the vulnerability of the vineyard in each region in the future. This capability is defined also by a number of social factors and legal limitations such as environmental regulations, limited water resources or those imposed by their own Designation of Origin. The development of strategies to ensure sustainable use of water resources and the support schemes in the new Common Agricultural Policy (CAP) can improve the resilience and thus reduce vulnerability.

## **Agradecimientos**

Quiero agradecer especialmente a mis directores de Tesis, la Dra. Ana Iglesias Picazo y el Dr. Vicente Sotés Ruiz por sus consejos y apoyo durante los años en los que se ha desarrollado este trabajo. Gracias por confiar siempre en mis capacidades y sobre todo Ana por estar siempre dispuesta para resolver cualquier duda. Y gracias sobre todo, por hacer sencillo lo que a veces desde dentro, parecía inabarcable.

Muchas gracias a mis compañeros de COAG y en especial a Álvaro Areta, por ayudarme con las dudas infinitas, brindarme su tiempo. Gracias al CEIGRAM, por apoyar desde su inicio la idea de este trabajo. En especial a Isabel Bardají y Alberto Garrido por confiar en mí y gracias también a Berta por la ayuda en situaciones de crisis y a Katerina por su ayuda y comprensión.

Agradecer a la Oficina Española de Cambio Climático el apoyo recibido, en especial a José Ramón Picatoste y María José Alonso por creer en el trabajo y ayudarme a divulgarlo.

A los integrantes del proyecto ESCENA en especial quisiera agradecer al grupo de Meteorología de Santander de la Universidad de Cantabria por el tiempo que dedicaron.

A mis amigos Alberto, Alfonso, César, Diego y Miguel por todos los buenos momentos.

Y sobre todo, gracias a Nuria por apoyarme incondicionalmente, estar siempre a mi lado, regalarme su tiempo y ayudarme a superarme a mí mismo. A mi padre José Antonio, a mis hermanas Lara y Roxana por haber estado siempre conmigo. Gracias a mi abuela por su cariño y a mis tíos Manuel y Mónica por ayudarme a apreciar aún más la cultura del vino.

## Lista de Abreviaciones

CCAA: Comunidades Autónomas

CCHH: Cuencas Hidrográficas

CEIGRAM: Centro de Estudios e Investigación para la Gestión de Riesgos Agrarios y Medioambientales

CCMG: Clasificación Climática Multicriterio de Geoviticultura

CMNUCC: Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

CE: Comisión Europea

CSIC: Consejo Superior de Investigaciones Científicas

DOP: Denominación de Origen Protegida

ENESA: Entidad Estatal de Seguros Agrarios

UE: Unión Europea

FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

GEI: Gases de efecto invernadero

INE: Instituto Nacional de Estadística

IPCC: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio

JRC: Centro Común de Investigación más conocido por JRC (Joint Research Center),  
Dirección General de la Comisión Europea.

MCG: Modelos climáticos Globales

MCR: Modelos Climáticos Regionales

MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

MINECO: Ministerio de Economía y Competitividad

PAC: Política Agraria Común

UNFCCC: United Nations Framework Convention on Climate Change

UPM: Universidad Politécnica de Madrid

TCE: Tribunal de Cuentas Europeo.

## 1. Motivación y objetivos

### 1.1. Descripción del problema

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 tienen que destinar 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).

En el resto del presente capítulo se establecen los objetivos que se plantean para este trabajo en base a esta descripción, posteriormente la estructura en la que se ha organizado el trabajo y por último el ámbito espacial y temporal.

## **1.2. Objetivos**

El objetivo principal de esta Tesis Doctoral es analizar la vulnerabilidad y las estrategias de adaptación en las distintas regiones frente al desarrollo de nuevas políticas. En consecuencia con lo anterior, se establecen unos objetivos específicos para facilitar la labor de investigación, y que son los siguientes (Figura 1): En primer lugar, determinar cuáles son los riesgos y oportunidades para la viticultura en España. En segundo lugar, conocer los esfuerzos que cada región debería realizar para adaptarse a las nuevas condiciones climáticas de acuerdo con sus propias características, para ayudar a establecer prioridades en el desarrollo de nuevas políticas.

Para conocer los riesgos y oportunidades se ha buscado determinar la sensibilidad de la viticultura por medio de las variaciones de una serie de índices agroclimáticos. Estos índices han sido seleccionados por estar ampliamente reconocidos en la literatura, al ser suficientemente representativos del potencial climático relacionado con la calidad vitivinícola y de los principales riesgos relacionados con eventos climáticos extremos asociados al Cambio Climático.

Los esfuerzos de adaptación necesarios, se han evaluado mediante el cálculo las necesidades relativas de adaptación y en base al estudio de la capacidad económica y social relativa de las distintas zonas para afrontar dichos cambios.

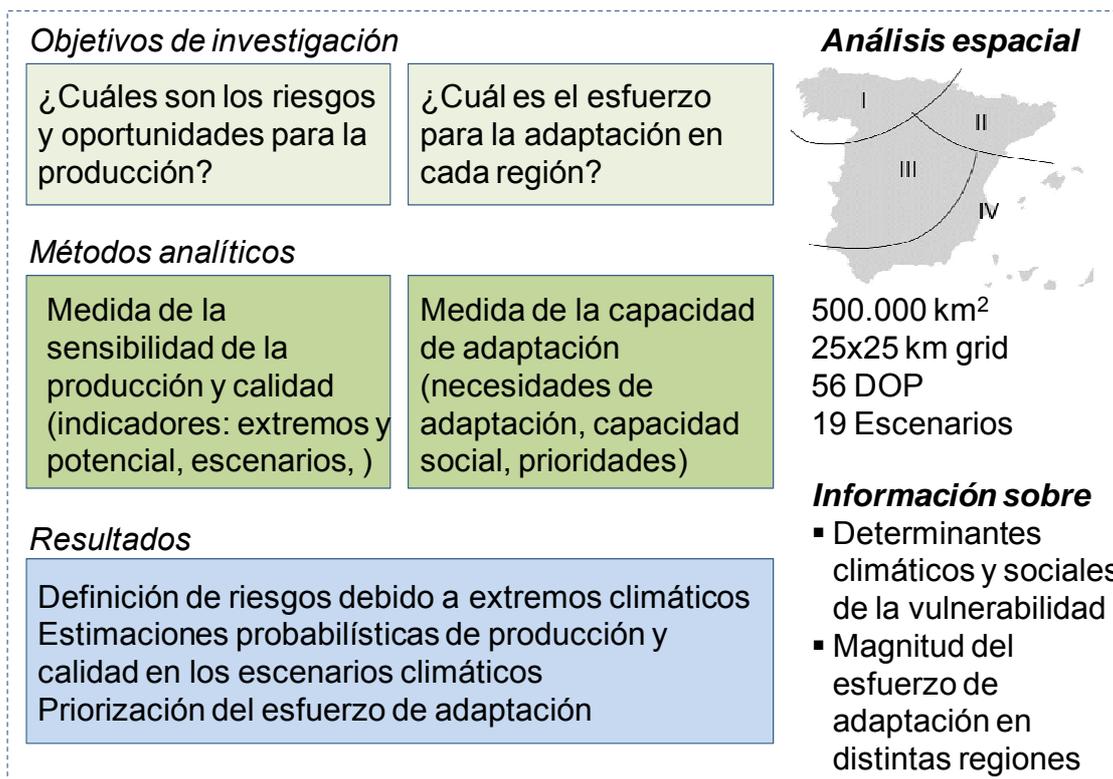


Figura 1. Objetivos y estructura de la Tesis

### 1.3. Estructura de la Tesis

La presente Tesis está estructurada en ocho capítulos, empezando por el capítulo 1 de introducción hasta el capítulo 8 dedicado a las referencias bibliográficas.

En el Capítulo 2 se describen los antecedentes de este estudio, haciendo especial referencia a la evolución y situación actual del sector vitivinícola y a la influencia del clima en la viticultura. Se realiza una revisión de los factores que se consideran relevantes para el desarrollo de este trabajo. En él se hace primero una breve revisión de los condicionantes económicos, medioambientales, sociales y políticos que han influido y definen la viticultura en España, y una descripción de los principales retos para su futuro, principalmente el Cambio Climático. En la descripción de éste último se adentra en los datos disponibles para su estudio y en los impactos más probables en la viticultura descritos en la literatura y de acuerdo con la influencia del clima en la calidad y productividad del viñedo.

En el Capítulo 3 se plantea el proceso metodológico utilizado, partiendo de la selección y análisis de los escenarios climáticos y de la generación de series de temperatura y precipitación. En este capítulo se seleccionan una serie de índices para la medición de los impactos y se desarrolla una metodología para definir las necesidades de adaptación en las principales regiones vitícolas. Por último, también se seleccionan una serie índices sobre factores que condicionan la capacidad de adaptación relativa actual.

En el Capítulo 4 se analizan los riesgos y oportunidades que representa el Cambio Climático en relación con los riesgos ocasionados por eventos climáticos adversos causados por extremos climáticos. Se analizan especialmente aquellos que tienen mayor influencia en la viticultura en cada una de las principales regiones productoras en España.

En el Capítulo 5 se describe en forma detallada los resultados, discusión y conclusiones del análisis de los riesgos y oportunidades del Cambio Climático sobre el potencial de producción y calidad para la viticultura de acuerdo con criterios climáticos. Para ello se analizan la magnitud y la velocidad de los cambios en los principales índices agronómicos de usados en la zonificación del potencial climático en viticultura.

En el Capítulo 6 se describe en forma detallada los datos, metodología, resultados, discusión y conclusiones del análisis de los esfuerzos de adaptación en cada región. El análisis se realiza en base al estudio de las necesidades de adaptación así como de serie de factores que condicionan la capacidad adoptar distintas herramientas de adaptación.

Finalmente en el Capítulo 7 se muestran las conclusiones generales obtenidas a lo largo del desarrollo de esta Tesis Doctoral y se plantea las principales aportaciones logradas, así como las propuestas de las futuras líneas de investigación.

Finalmente en el Capítulo 8 se muestran la bibliografía utilizada para la elaboración de este trabajo.

## **2. Antecedentes**

Desde su introducción en la Península Ibérica, el cultivo de la vid ha evolucionado debido a factores humanos y naturales. A la hora de estudiar las consecuencias del Cambio Climático en la viticultura y para mejorar la capacidad de adaptación frente a él, es importante entender la relevancia y las interdependencias de estos factores. Por ello, en este capítulo se detalla la información existente de los más relevantes, además del papel que han tenido en la evolución de la viticultura y que representan frente a los nuevos retos.

### **2.1. La viticultura en España**

Diversos factores endógenos y exógenos han influido y determinado la evolución histórica del sector del vino en España, entre ellos diversos condicionantes políticos, socioeconómicos y ambientales que han influido en esta evolución y han determinado la estructura del sector. Conocer la interrelación de muchos de estos factores puede ayudar al sector a enfrentarse a los nuevos retos.

#### ***2.1.1. La viticultura en España a través de la historia***

El desarrollo económico y la normalización del comercio a partir de la Alta Edad Media dieron lugar a una expansión del mercado del vino. Esta situación aseguró una mayor calidad al consumidor y empezó a definir las zonas vitícolas tal como se conocen actualmente. ya que ocasionó un abandono de las plantaciones poco productivas o de mala calidad situadas en zonas geográfica o climáticamente no idóneas en Europa vino (Unwin, 2001). En España también permitió el desarrollo de una industria de vinos generosos en el sur de la Península Ibérica dedicados a la exportación, aprovechando su proximidad a las principales rutas de comercio internacionales. En el resto de zonas, fue el desarrollo económico interior en los siguientes siglos, lo que permitió el desarrollo de la producción vitícola importante. No obstante, el desarrollo tuvo una marcada dualidad, conviviendo dos tipos de mercados: uno mayoritario de baja calidad para las clases bajas, y otro minoritario de mayor calidad para las clases más pudientes.

A partir de la segunda mitad del siglo XIX, con la mejora de las comunicaciones y el incremento del comercio en el contexto de la primera globalización, se produjo una creciente integración de España en la economía internacional. Esto unido a la llegada de la filoxera a Francia provocó el crecimiento de las exportaciones hacia el país vecino. Estos vinos se mezclaban con vinos franceses, presentes ya en los mercados internacionales y que habían desarrollado mucho la calidad, entre los que destacaban los tintos de Burdeos. Para las mezclas buscaban vinos de alta graduación y que por lo tanto no sirvieran para impulsar mejoras en la calidad salvo excepciones (Fernández y Pinilla, 2014).

Con el final de siglo, el cambio de gusto hacia vinos con menos grado alcohólico y el cierre del mercado francés redujeron las posibilidades de exportaciones. La llegada de la plaga filoxérica a España empeoró la situación. Por ello, pese a la competitividad del vino común español en el segmento de baja calidad, la demanda enormemente irregular y débil ofreció oportunidades muy limitadas para los exportadores españoles. Esta situación empeoraría posteriormente con la crisis de 1929, debido al incremento de las políticas proteccionistas.

Las dificultades en los mercados exteriores determinaron una profunda reorientación de la producción hacia el mercado interior, centrado en vinos de baja calidad comercializados a granel en comercios tradicionales (Pinilla y Ayuda, 2002). Los cambios no llegaron hasta la década de los 70, cuando se produjo la denominada globalización del vino con una expansión sustancial de las exportaciones mundiales (Fernández, 2012). Este cambio se impulsó aún más en España en los años 80, cuando se empezó a reflejar cambios en el patrón de consumo tal como se venía produciendo en otros países, especialmente en Francia, hacia vinos de mayor calidad motivados por el aumento de la renta per cápita y las innovaciones introducidas en la comercialización. En el caso español, la escasa adaptación de la producción vinícola española a las nuevas formas de comercialización, la limitada producción de calidad de vinos ligeros o la falta de marcas, a pesar del incipiente desarrollo de las Denominaciones de Origen Protegidas (DOP), hizo que las exportaciones crecieran lentamente, a diferencia de otros países. Sólo tras la incorporación de España al Mercado Común, el acceso a las ayudas de la Política Agrícola Común (PAC) se empezó a introducir innovaciones tecnológicas en la producción, lo que ha impulsado de nuevo las exportaciones.

### **2.1.2. La viticultura en la Política Agrícola Común**

El sector vitivinícola en Europa ha estado históricamente muy regulado. Esta intervención pública se ha centrado en el control de la oferta, la gestión del potencial vitivinícola y la defensa de la autenticidad y tipicidad del producto. Sin embargo, la irrupción de nuevos países a partir de 1980 ha acelerado la evolución de los modelos de regulación vitivinícola, ahora más orientados al mercado, sustituyendo el énfasis en las medidas de intervención por el fomento de la cooperación entre los actores de la cadena y el aumento de la competitividad. Por otra parte, la ampliación del mercado mundial y el fortalecimiento del sistema multilateral de comercio han favorecido el incremento de la protección de las figuras de calidad ligadas al origen, especialmente bajo el impulso de la UE (Castillo et al., 2014).

No obstante, el proceso de liberalización y desregulación del comercio en la agricultura iniciado con la ronda Uruguay del GATT se trasladó al vino con la reforma de la OCM de 2008, que tenía como finalidad aumentar la competitividad de los productores vitivinícolas de la UE. La reforma se concibió como un proceso de dos fases: en la primera de ellas era fundamental alcanzar un equilibrio en el mercado mediante la supresión progresiva de las medidas de intervención, a lo que se añadía un régimen de arranque de tres años de duración; en la segunda fase y desde 2012, los esfuerzos se centran en el empleo de instrumentos que permitan mejorar la competitividad de los productores vitivinícolas de la UE. Entre ellos destacan la reestructuración y reconversión de viñedos, las inversiones y la promoción en terceros países, gestionados mediante los programas nacionales de apoyo (COM, 2012).

Con la nueva reforma se modificaron los dos pilares históricos de la regulación vitivinícola: el control del potencial productivo y el ajuste estructural de la oferta a través del sistema de arranque (muy controvertido por su impacto medioambiental y por sus inconsistencias con las medidas de reconversión) y de un sistema de derechos de plantación. Este último se ha sustituido por un sistema de autorizaciones administrativas en vigor a partir de 2016 y hasta 2030, cuando se elimine definitivamente cualquier restricción. Otro de los instrumentos tradicionales de intervención en los mercados, las destilaciones, también han desaparecido prácticamente (Castillo et al., 2014).

De especial importancia fue la introducción de las ayudas a la reestructuración y reconversión del viñedo en 1999 y que han continuado en la reforma de 2008. La medida de reestructuración, que incluye el apoyo a la reconversión varietal, la reimplantación de los viñedos o mejora de las técnicas de gestión del viñedo, se considera como un instrumento fundamental para la mejora de la competitividad de la viticultura, porque facilita las actuaciones de los agricultores destinadas a adaptar la producción a la demanda, a obtener una mayor productividad o a un ahorro de costes.

Estas ayudas han permitido en primer lugar un cambio sustancial en la configuración de las variedades empleadas por los viticultores, que optaron en mayor medida por las variedades tintas en el período comprendido entre 2000 y 2010 (la superficie dedicada a la uva tinta aumentó en 18 puntos porcentuales en España, aumentando hasta el 55 % de la superficie total de viñedo). En segundo lugar han permitido un ahorro de costes a través de la transformación en espaldera, que permiten una correcta mecanización, principalmente de las labores de poda y de vendimia. Esta modalidad actuó como un nuevo estímulo para la conversión hacia el regadío, sobre todo en las zonas más cálidas, porque una viña de espaldera difícilmente se hacía viable sin una aportación de riego, y más aún si se introducen variedades menos resistentes a la sequía (Pulpón, 2010).

En total, un 20 % de las viñas en vaso se han transformado en espaldera, introduciendo también variedades más sensibles a las altas temperaturas, algunas de ellas de las denominadas extranjeras o foráneas. Aún así, la importancia de las llamadas variedades tradicionales supera con mucho a las llamadas variedades foráneas, que no alcanzan el 6 % de la superficie de viñedo.

El viñedo en regadío supone actualmente el 40 % de los viñedos en España e incluye no sólo los nuevos viñedos en espaldera. También en los viñedos en vaso se ha venido realizando inversiones en regadío para incrementar la productividad y garantizar la viabilidad de muchas explotaciones. Casi la totalidad de las inversiones se han realizado con riego localizado y, aunque esta tecnología representa un uso más eficiente del agua, las prácticas de riego actuales (Lissarrague y Martínez de Toda, 2009), las deficiencias técnicas (Ortega et al., 2002; Rodríguez-Díaz et al., 2011) y los mecanismos de control de las concesiones de agua subterránea aún deben mejorarse (López-Gunn et al., 2012a).

Una de las consecuencias de este programa de modernización ha sido una mayor presión sobre los recursos de agua subterránea por parte de la viticultura (Fornés et al., 2005), aunque los resultados globales en una de las regiones más vulnerables como es Castilla-La Mancha, permiten afirmar que la incorporación de la espaldera no ha contribuido a incrementar el consumo de agua regional en las actividades agrarias durante la última década, debido a la pérdida de superficie de cultivos con altos requerimientos hídricos (Pulpón, 2013). De hecho, el programa de modernización de la viticultura ha permitido aumentar el rendimiento económico del agua utilizada, por la mayor productividad hídrica aparente del viñedo (Chico y Garrido, 2013). Otra de las consecuencias es el aumento significativo en el consumo de energía en la viticultura, que representa un porcentaje importante de los costos totales del regadío (Rodríguez-Díaz et al., 2011). Estos costos finalmente han reducido los márgenes de rentabilidad después del aumento en el precio del gasóleo y de la tarifa de energía desde 2008, en este último caso tras el proceso de liberalización de la energía, particularmente en pozos de aguas subterráneas profundas (López-Gunn et al., 2012b). No obstante, en el cómputo global, las inversiones en espaldera y en regadío han supuesto una bajada del 40 % en los costes de la tonelada producida (Rannekleiv, 2014).

El Tribunal de Cuentas Europeo (TCE 2012) reconoce que la medida de reestructuración y reconversión ha tenido un claro impacto sustancial y positivo en los viticultores. No obstante, al provocar esta medida un aumento sensible de los rendimientos unitarios con la generalización del regadío, ha contribuido al agravamiento del problema de los excedentes estructurales (Pulpón, 2013; Holtz y Pahl-Wostl, 2012), especialmente en Castilla-La Mancha, que supone un 50 % de la producción en España, y donde se han realizado más de la mitad de las inversiones totales en España de reestructuración y reconversión desde el año 2000 (Figura 2).

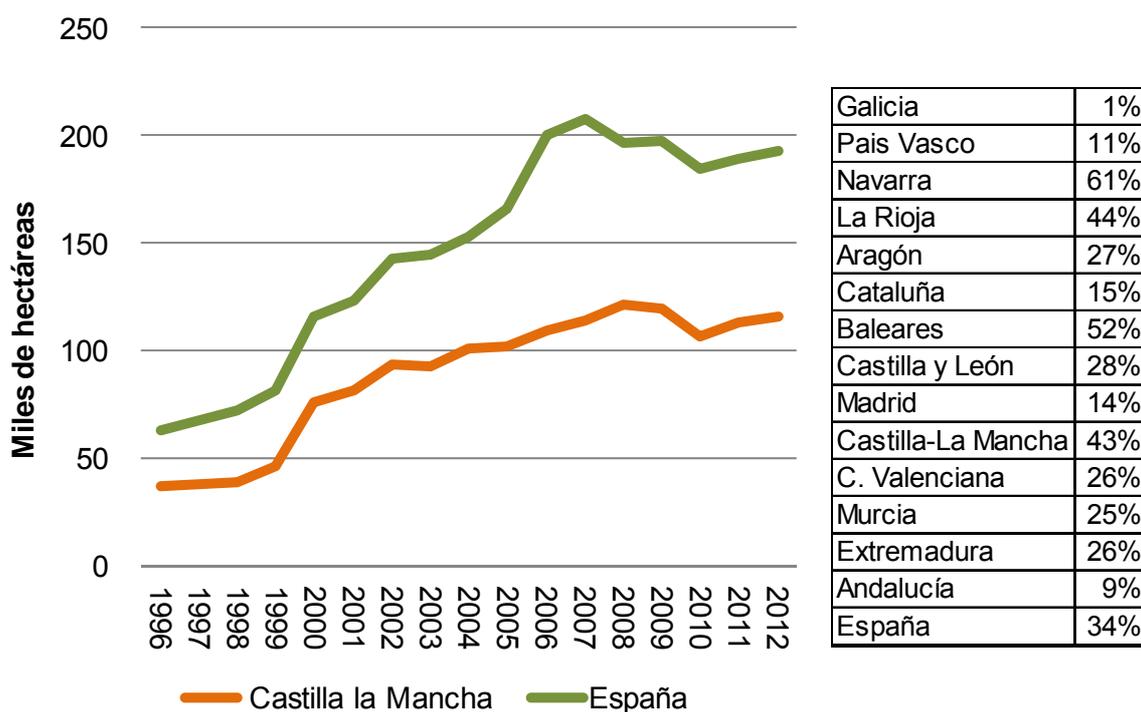
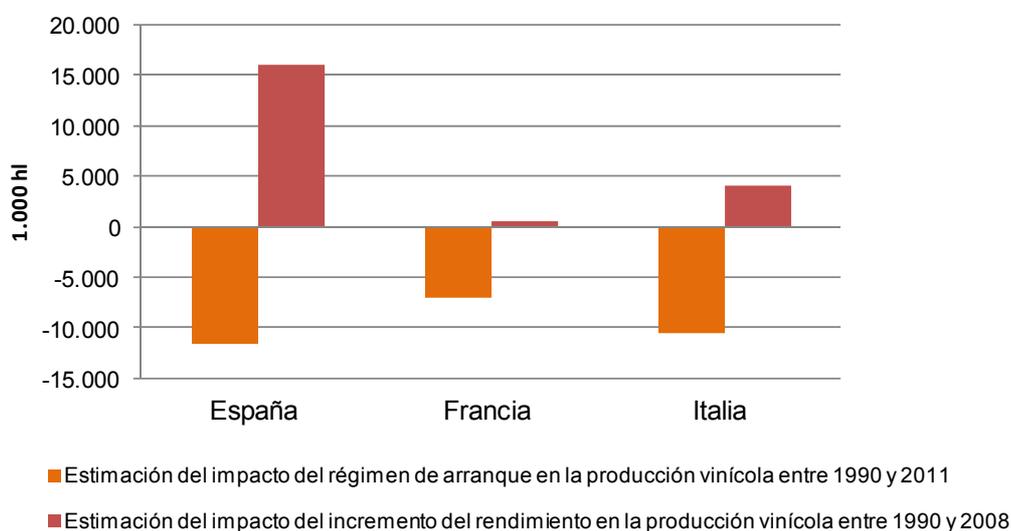


Figura 2. Evolución del número de hectáreas de viñedo de regadío en España y Castilla-La Mancha (izquierda) y porcentaje de viñedo en regadío en cada una de las CCAA (derecha) (elaboración propia con datos de MAGRAMA)

El incremento de los rendimientos ocasionado por el programa de reestructuración ha contrarrestado otro de los elementos tradicionales de la PAC, el sistema de arranque, que ya en la última reforma quedó reducido ya sólo a un periodo de tres años. Con él se pretendía precisamente reducir este déficit estructural, y si bien dio lugar a una reducción en la oferta de aproximadamente 10,2 millones de hl. de vino en toda Europa, era insuficiente para eliminar el excedente estructural (TCE, 2012). En total se arrancaron 160.550 ha en toda la UE, de las cuales correspondieron a España el 58,6 %, más de 68.000 ha (el 72,4 % de España, se han localizado en Castilla-La Mancha y que se añaden a las 130.000 arrancadas en el período 1988-1996). Este hecho queda más claro si se compara el efecto combinado del arranque con la reestructuración (Figura 3) y demuestra que el arranque, por las propias condiciones que requería, ha actuado más como una medida de ajuste de carácter social,

facilitando la retirada y jubilación de los viticultores, que como una medida de reestructuración del potencial productivo (Castillo et al., 2014).



*Figura 3. Cálculo sobre el efecto del arranque y del aumento del rendimiento en la producción vitivinícola de España, Francia e Italia (TCE 2012)*

Por último, la eliminación de algunas medidas de regulación de los mercados como la destilación de usos de boca en la OCM del vino a partir de 2010, unido a la caída continuada del consumo y la entrada en producción del viñedo reestructurado, han hecho difícil que el mercado interno asimilase el incremento de excedentes, que se han tenido que destinar al mercado exterior. Así a partir de 2009 se produjo un notable incremento de las exportaciones sobre todo de vinos de mesa, en gran parte debido a los efectos de la caída de las destilaciones por la reforma de la OCM y del consumo. La evolución de los destinos finales del vino se puede observar en la Figura 4, donde se aprecia en los últimos años una caída continuada del consumo interno, agudizada por la crisis a partir de 2007, y de las destilaciones, en contraste con el aumento de las exportaciones.

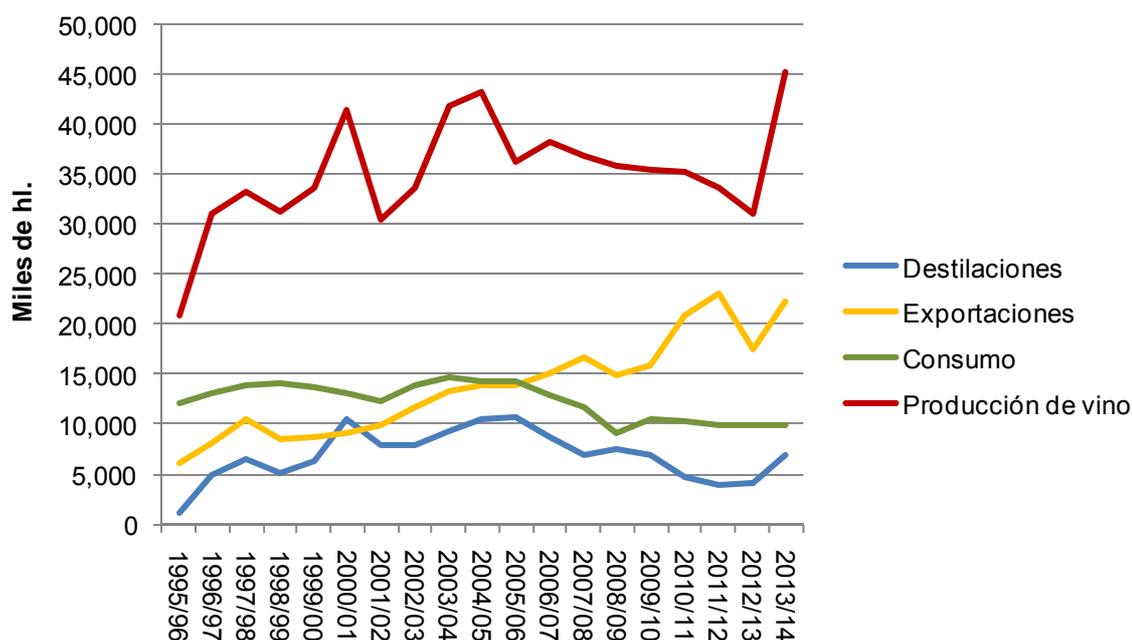


Figura 4. Evolución del destino final del vino en España (elaboración propia con datos del MAGRAMA)

### 2.1.3. Situación actual e importancia económica y social de la viticultura

España cuenta actualmente con la mayor superficie de viñedo de uva para vinificación del mundo, con 950.541 hectáreas en 2014, que suponen el 30 % de la superficie de la Unión Europea y donde se cultivan 3.277.179 hectáreas de viñedo. Hay que considerar, además, que hay 78.003 hectáreas correspondientes a los derechos de replantación en poder de los productores y otras 9.851 hectáreas de derechos de plantación existentes en las Reservas Regionales, por lo que el potencial vitícola asciende a 1.045.427 hectáreas según datos del Registro Vitícola a 31 de julio de 2013. Esta superficie equivale al 2 % de la superficie agrícola de la UE-25, con una producción vitivinícola, que representó el 5,4 % de la producción agrícola en ese mismo año. Francia e Italia, los siguientes países en extensión del cultivo del viñedo, la siguen con casi 830.221 y 686.407 hectáreas respectivamente.

La vid ocupa el tercer lugar en extensión de los cultivos españoles, detrás de los cereales y el olivar, y su superficie se extiende por todas las Comunidades Autónomas (Figura 5), si bien casi la mitad de la superficie vitícola se encuentra en Castilla-La

Mancha (la zona geográfica del mundo con mayor extensión dedicada a este cultivo), con 440.033 hectáreas, seguida por Extremadura y Castilla y León con 80.417 y 74.714 hectáreas de viñedo, respectivamente (MAGRAMA, 2014).

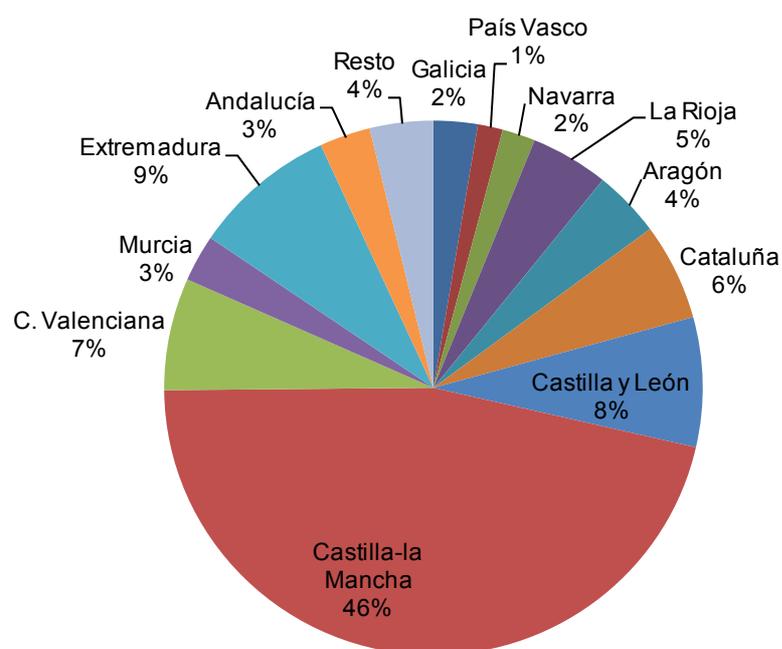


Figura 5. Superficie de viñedo en España por CCAA en 2014 (elaboración propia con datos del MAGRAMA)

Según la última encuesta vitivinícola, en el año 2009 estaban registradas 381.089 explotaciones mientras que el número de viticultores alcanza la cifra de 134.716. En cuanto a la tipología de explotación por cada zona productora, las explotaciones de viñedo más grandes se encuentran en Murcia, Extremadura, Cataluña y Extremadura, mientras que las explotaciones más especializadas se encuentran en Cataluña, Valencia, Murcia, Extremadura y La Rioja (Tabla 1), ya que la superficie de viñedo en relación a la SAU por explotación es mayor.

*Tabla 1. Número de explotaciones con viñedo, SAU por explotación y superficie de viñedo por explotación (MAGRAMA, 2015)*

CCAA	Nº de explotaciones (1)	SAU (ha) (2)	Superficie de viña (ha) (3)	Superficie viña/SAU (3)/(2)	Superf/Nº Explot. (2)/(1)
La Rioja	13.346	119.921	44.576	37 %	3,3
Aragón	17.695	229.490	44.571	19 %	2,5
Cataluña	11.196	131.359	59.515	45 %	5,3
Baleares	1.013	8.689	1.544	18 %	1,5
Castilla y León	62.180	670.239	72.565	11 %	1,2
Madrid	9.297	56.223	12.577	22 %	1,4
Castilla-La Mancha	99.938	1.503.385	495.300	33 %	5,0
Valencia	24.627	173.951	73.433	42 %	3,0
Murcia	4.860	88.279	35.437	40 %	7,3
Extremadura	13.996	233.061	86.606	37 %	6,2
Andalucía	13.463	109.076	31.692	29 %	2,4
Canarias	15.183	30.438	8.653	28 %	0,6
España	381.089	3.619.440	1.028.258	28 %	2,7

De la superficie total destinada a este cultivo, cerca del 60 % está inscrito en alguna Denominación de Origen, superficie que sigue creciendo en detrimento de las superficies destinadas a vinos de mesa. España cuenta con 80 vinos DOP, de los cuales 5 son Denominación de Origen Calificada y 11 Vinos de Pago. Las DOP siguiendo el modelo europeo de producción, mantienen un estricto control sobre la cantidad producida y las prácticas vitícolas y enológicas, y sus vinos son íntegramente producidos con uva local. Las DOP con más viticultores inscritos son Rioja y La Mancha. Por otra parte, existen 43 vinos con Indicación Geográfica Protegidas (IGP), donde se mantiene un control estricto de la calidad, aunque la regulación europea permite utilizar un pequeño porcentaje de uva de fuera de la zona.

Tabla 2. Superficie de viñedo por Denominación de Origen Protegida en hectáreas (MAGRAMA, 2015)

DOP	ha	DOP	ha	DOP	ha	DOP	ha
Abona	1.060	Conca de Barberá	1.826	Mondéjar	700	Rueda	11.739
Alella	316	Condado de Huelva	3.223	Monterrei	386	Somantano	4.644
Alicante	8.785	Coster de Segre	4.696	Montilla Moriles	6.001	Tacaronte-Acentejo	1.184
Almansa	7.400	Dehesa de Carrizal	22	Montsant	1.840	Tarragona	6.598
Arlanza	440	Dominio de Valdepusa	49	Navarra	13.064	Terra Alta	5.993
Arribes	452	El Hierro	192	Pago de Arizano	128	Tierra de León	1.321
Bierzo	3.683	Empordá	1.826	Pago de Otazú	92	Tierra del Vino de Zamora	717
Binissalem	614	Finca Élez	39	Pago Florentino	58	Toro	5.768
Bullas	2.300	Gran Canaria	233	Penedés	24.248	Uclés	1.700
Calatayud	3.926	Granada	226	Pla de Bages	450	Utiel-Requena	37.314
Campo de Borja	7.379	Guijoso	99	Pla i Llevant	349	Valdeorras	1.286
Campo de la Guardia	81	Jerez y Manzanilla S.B.	9.625	Prado de Irache	150	Valdepeñas	25.433
Cangas	31	Jumilla	27.022	Priorat	1.888	Valencia	13.079
Cariñena	15.259	La Gomera	121	Rías Baixas	3.814	Valle de Gúímar	570
Cataluña	48.337	La Mancha	168.119	Ribeira Sacra	1.255	Valle de la Orotava	632
Cava	30.654	La Palma	736	Ribeiro	2.767	Valles de Benavente	361
Chacoli de Álava	101	Lanzarote	1.963	Ribera del Duero	20.841	Valtiendas	76
Chacoli de Bizkaia	358	Málaga y Sierras de Málaga	1.320	Ribera del Guadiana	28.728	Vinos de Madrid	8.195
Chacoli de Getaria	400	Manchuela	4.139	Ribera del Júcar	9.200	Ycoden-Daute-Isora	264
Cigales	2.256	Méntrida	8.385	Rioja	63.942	Yecla	6.150

El vino supone actualmente alrededor de un 6 % del valor final de la producción de la rama agrícola que en el año 2012 supuso alrededor de 1.375 millones de euros. El gran peso de las frutas y hortalizas en el agro español hace disminuir el del viñedo en el cómputo final, sobre todo si se comparan con los países de nuestro entorno (Tabla 3). No obstante el peso del vino en algunas regiones como Rioja o Castilla-La Mancha llega a supone más del 20 %.

*Tabla 3. Importancia vitivinícola en la producción agrícola (% de los valores totales EU-27 y principales Estados Miembros productores de vino) (Eurostat, 2015)*

	Cereales	Remolacha	Frutas y hortalizas	vino	aceite de oliva
Alemania	33 %	2 %	21 %	4 %	0 %
España	17 %	1 %	55 %	6 %	9 %
La Rioja	11 %	1 %	62 %	20 %	0 %
Castilla-La Mancha	23 %	0 %	34 %	28 %	4 %
Cataluña	23 %	0 %	57 %	4 %	2 %
Francia	34 %	2 %	19 %	18 %	0 %
Italia	19 %	0 %	54 %	8 %	5 %
Portugal	10 %	0 %	56 %	18 %	1 %

En cuanto a los ingresos directos del sector vitivinícola, en el año 2012 el sector agrario obtuvo unos ingresos del sector vitivinícola de 1.363 M €. Si se analiza su evolución, se puede observar como el sector agrario ha logrado mantener los ingresos por hectárea, a pesar de la bajada de los precios por producto, principalmente con mayores producciones (Figura 6). No obstante la eliminación de las medidas de destilación junto con la crisis económica y la bajada del consumo se ha hecho notar en los ingresos de los agricultores a partir de 2009. La caída de la producción en 2012 también produjo un aumento de los precios recibidos que logró estabilizar los ingresos por hectárea.



Figura 6. Evolución de los ingresos del sector agrario (elaboración propia con datos de MAGRAMA)

En todas las Comunidades Autónomas, excepto en Cantabria, existe alguna DOP, y en algunas como La Rioja, País Vasco, Navarra o Cataluña, casi todo el vino que se produce corresponde a vino de calidad, es decir, amparado por alguna DOP o IGP.

La industria vitivinícola y sus vinculadas (mostos y alcoholes), constituyen uno de los grandes epígrafes de la industria alimentaria española, con gran influencia en el conjunto del sistema alimentario debido a la importancia económica y social de la vitivinicultura, a su dispersión geográfica, a su presencia en muchos núcleos de población rurales en los que hace posible la existencia de sistemas productivos locales (lo que le confiere un gran valor equilibrador en términos geográficos) y a su peso en la balanza comercial y en la tradición cultural y gastronómica mediterránea (Langreo y Castillo 2014).

Tabla 4. Cifras de los principales indicadores de la industria vitícola en el año 2012  
(INE 2015)

	Sector vino	Industria Agroalimentaria	Total Industria
Personas ocupadas	23.743	352.823	1.922.272
Ventas producto (millones €)	5.772	90.169	438.907
Compra de materias primas (millones €)	2.829	54.309	250.811
Inversión activos materiales (millones €)	292	2.879	19.346
Valor añadido (millones €)	1.628	18.999	125.417
Gastos personal (millones €)	760	10.633	71.108

En cuanto a las ventas en el mercado exterior, 3.897 empresas exportaron vino en 2014. Las exportaciones de vino suponen entre el 11 % y 13 % del valor de las exportaciones del sector agroalimentario (y alrededor del 2 % del total del comercio exterior) frente a unas importaciones muy bajas, apenas el 1 % de las importaciones agroalimentarias. España es ya uno de los líderes mundiales en el comercio exterior de vino. Ocupa la segunda posición entre los exportadores mundiales de vino en términos de volumen, disputando el puesto a Italia (Figura 7), y la tercera posición como exportador mundial en términos de valor, tras Italia y Francia (Figura 8).

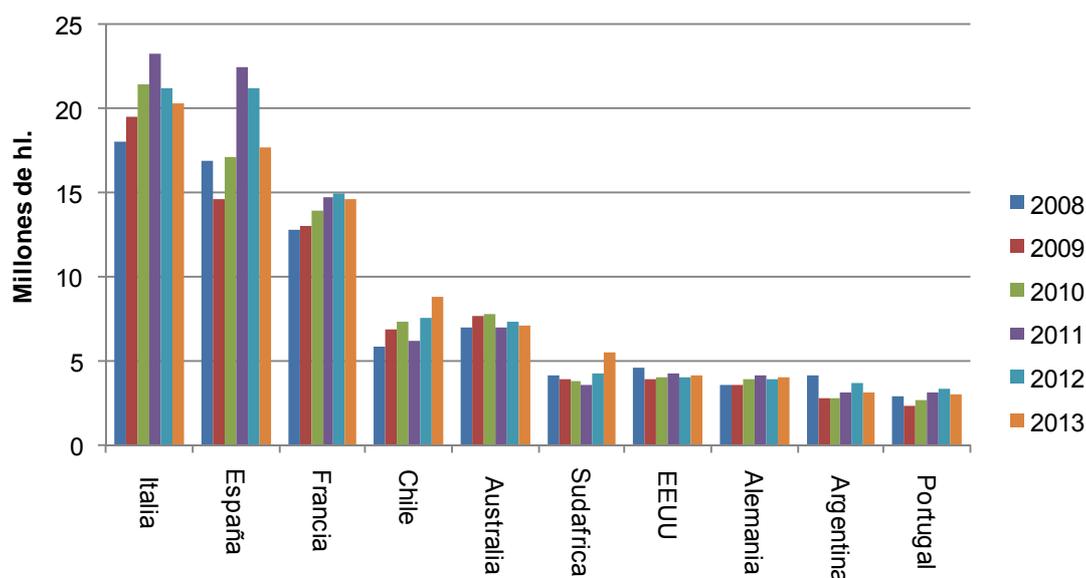


Figura 7. Evolución mundial de las exportaciones en volumen (elaboración propia con datos OIV)

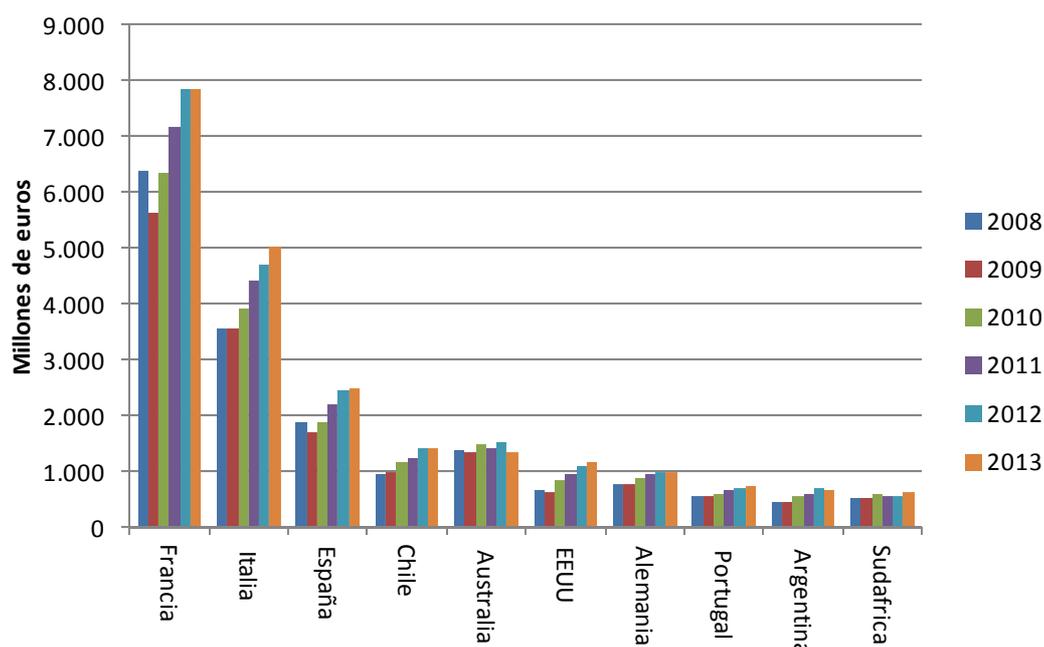


Figura 8. Evolución Mundial de las exportaciones en valor (elaboración propia con datos OEMV)

Si se analizan las características de las exportaciones (Figura 9) se puede observar un gran crecimiento del volumen de exportaciones de vinos de mesa a partir del año 2000 y 2009, aunque en valor desciende lentamente respecto a los vinos de calidad. La exportación de vino de mesa a granel ha impulsado el crecimiento del valor de las exportaciones, pero ha mantenido estable los precios de exportación del conjunto de los vinos españoles (Figura 10). El gran crecimiento de las exportaciones de vino de mesa sitúa a España como uno de los principales países exportadores de vinos de precios bajos, y que el precio del vino exportado no haya experimentado una variación significativa en los últimos años, a pesar del crecimiento de las exportaciones de vinos de calidad.

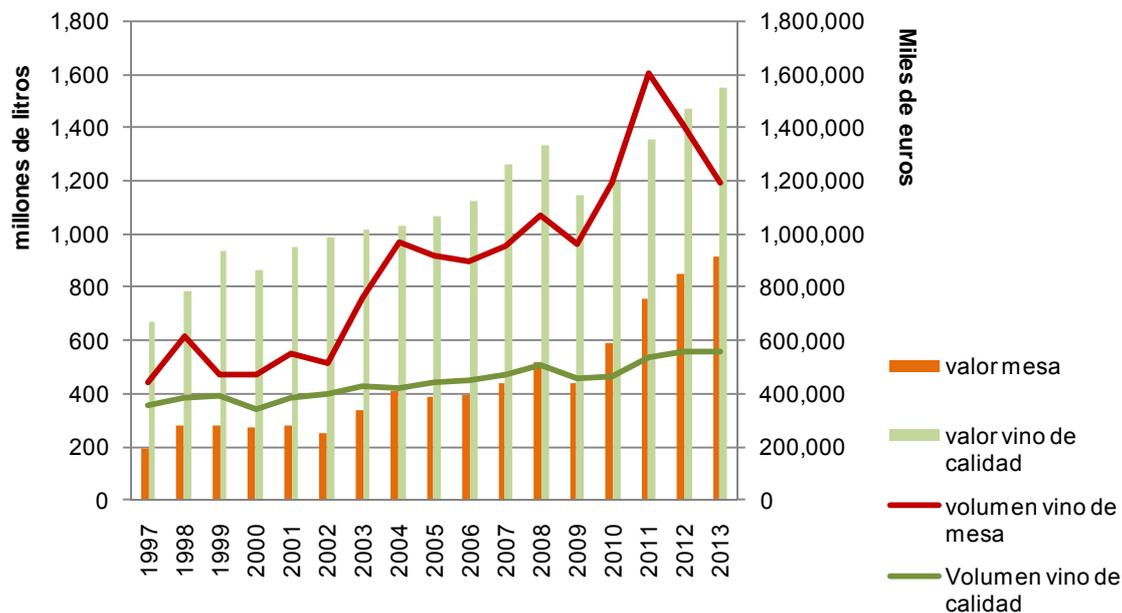


Figura 9. Evolución de las exportaciones por tipos de vino (elaboración propia con datos de DataComex)

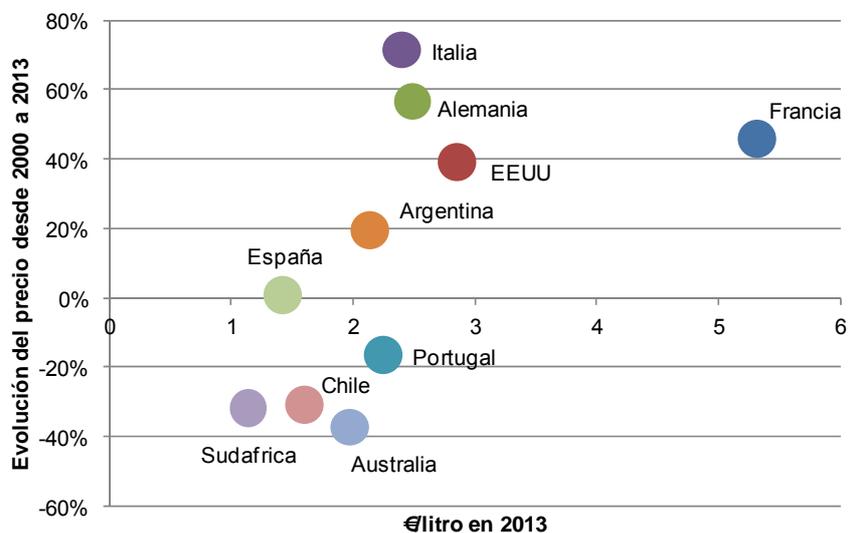


Figura 10. Evolución Mundial de los precios del vino (Elaboración propia con datos OEMV)

Los principales mercados de exportación se pueden observar en la Figura 11, donde se indican los principales destinos de exportación por valor de los vinos españoles. Destacan las exportaciones al norte de Europa ya EEUU, así como las destinadas a China y Japón con una importancia cada vez mayor. Aunque en valor son importantes las exportaciones a Francia, Italia y Rusia, muchas de estas exportaciones son de vinos de bajo valor añadido, destinado a la mezcla en el caso de las dos primeras.

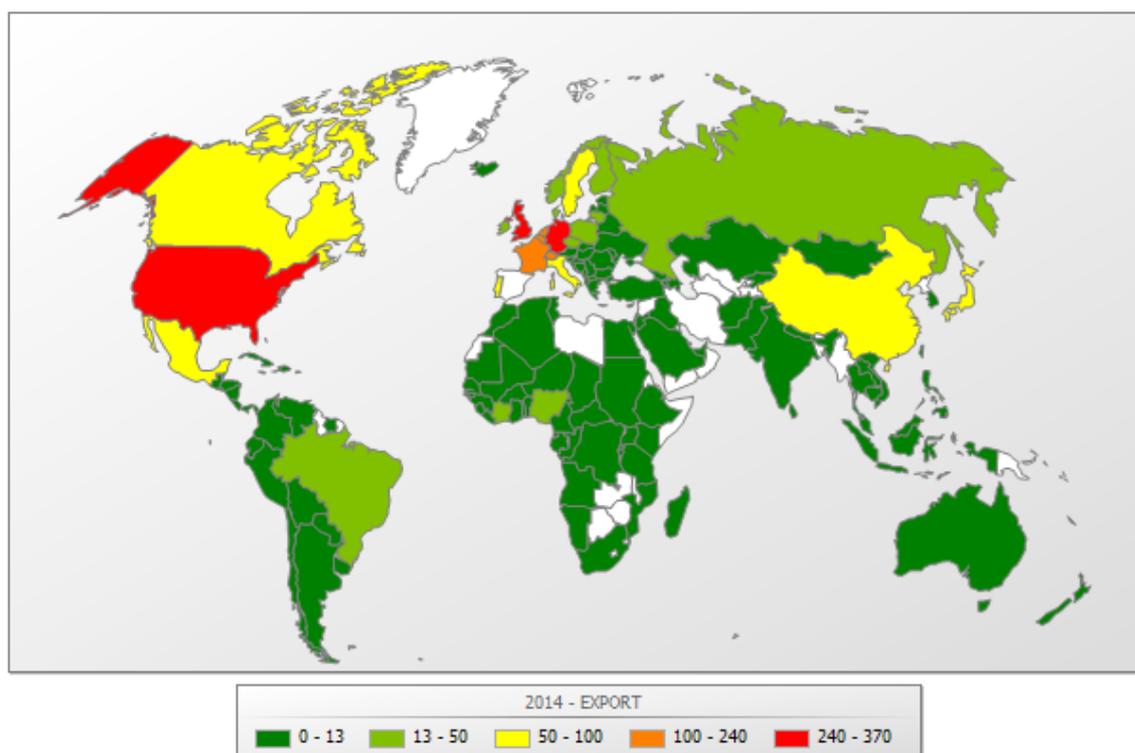


Figura 11. Exportaciones Españolas por destino en 2014 en millones de euros  
(elaboración propia con datos de DataComex)

## 2.2. 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 clima observada durante periodos de tiempo comparables (IPCC, 2014).

Los GEI que más preocupan son el metano ( $\text{CH}_4$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). 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  $\text{CO}_2$  aumentaron de un valor preindustrial de 278 ppm a 379 ppm en 2005 (Figura 12), al tiempo que, en el último siglo, la temperatura media global aumentó en  $0.74^\circ\text{C}$  (IPCC, 2007).

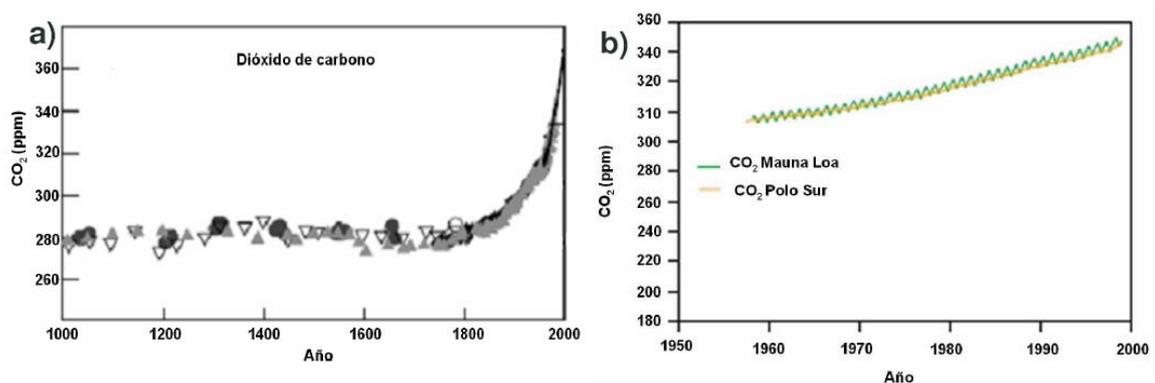


Figura 12. Concentraciones atmosféricas de  $\text{CO}_2$  en los últimos 1000 años (a) y en el periodo 1950-2000 (b) (IPCC, 2014)

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 CO<sub>2</sub>, lo que supone una notable inexorabilidad del Cambio Climático durante varios siglos, debido a las emisiones de CO<sub>2</sub> pasadas, presentes y futuras (IPCC, 2014).

### **2.2.1. Modelos climáticos**

Con el objetivo de compilar el conocimiento de los diferentes temas que pudieran estar involucrados con el Cambio Climático, incluyendo sus aspectos científicos, económicos y sociales, así como las estrategias de respuestas, hacia fines de la década de los ochenta, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización Meteorológica Mundial crearon el Panel Intergubernamental sobre Expertos del Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). El IPCC también proporciona información científica y técnica para facilitar a los gobiernos las bases suficientes para arbitrar políticas climáticas coherentes, así como realiza un seguimiento de los cambios climáticos a escala global mediante reportes de evaluación. Hasta la fecha se han presentado 5 informes, el último de ellos en 2014.

En el IPCC (2014) se define el clima como el tiempo meteorológico medio, establecido como una descripción estadística en términos de valores medios y de variabilidad de las variables de interés durante un periodo de tiempo que la Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha establecido de treinta años (Trewin, 2007), un periodo estándar para poder homologar los estudios del clima y facilitar las posibles comparaciones.

No obstante, para poder predecir qué sucederá en el futuro, es necesario recurrir a modelos climáticos que son sistemas de ecuaciones y simulaciones que intentan reproducir el comportamiento del mundo real y pueden estimar la evolución del clima en una determinada región o a nivel mundial. Estos modelos sólo reproducen una parte de las variables, por lo que no pueden llegar a reproducir toda la compleja red de interacciones y reproducir con fidelidad toda la realidad.

El IPCC proporciona escenarios de emisiones, que proporcionan el contexto socioeconómico y ambiental y permiten conocer la evolución futura de diversas variables (entre ellas las emisiones de CO<sub>2</sub>). Los modelos climáticos globales (MCG) a partir de los escenarios de emisiones, elaboran los escenarios de Cambio Climático que permiten simular los cambios que ocurren en las variables relacionadas con el clima.

Los modelos que se usan para predicciones del clima a corto plazo dividen la atmósfera en celdas de tres dimensiones, donde se computan datos climáticos de

temperatura, presión, humedad, y velocidades horizontales y verticales de viento, y mediante ecuaciones se expresan cómo podrían variar estos parámetros según las condiciones generales y los valores de las celdas vecinas. Los MCG incluyen modelos atmosféricos y modelos oceánicos que procesan actualmente grandes cantidades de datos de una red cada vez más amplia de satélites y estaciones de control remoto. Pueden modelar la atmósfera del mundo a gran escala y a largo plazo, pero suelen registrar errores a escalas regionales. Los resultados de una simulación climática realizada bajo una hipótesis con el fin de estudiar sus posibles impactos a largo plazo se denominan escenario climático y proyección climática.

Los MCG acoplados simulan bien las características de la circulación atmosférica global por lo que obtienen resultados adecuados de los valores medios climáticos. Pero a escala regional, los modelos muestran desviaciones medias por zona que varían enormemente de una región a otra y de un modelo a otro. Las desviaciones de los valores medios por zona de la temperatura estacional a nivel subcontinental son normalmente de  $\pm 4^{\circ}\text{C}$ , y las desviaciones de las precipitaciones son de entre - 40 % y + 80 %. Además, esos modelos presentan problemas para tratar los fenómenos extremos, que tienden a ser de corta duración y tienen escalas espaciales más locales (IPPC, 2001). En consecuencia, para obtener aproximaciones más adecuadas a los climas de escala regional o sub-regional, actualmente se aplican otras técnicas a partir de las simulaciones con los MCG acoplados, conocidas como técnicas de regionalización (Giorgi y Mearns, 1991). Estas técnicas aprovechan la información de gran escala de los MCG pero se aplican a un área limitada del globo, de forma que pueden ser ejecutados con mayor resolución y resolver adecuadamente la orografía, líneas de costa, usos de suelo, etc. (Fernández et al., 2012). Aún así presentan dificultades para simular y atribuir los cambios de temperatura observados a escalas inferiores a la continental (Solomon, 2007)

### **2.2.2. Escenarios de Cambio Climático**

El IPCC distribuye conjuntos de escenarios climáticos elaborados por diferentes organismos y que representan el comportamiento global. Sin embargo, la baja resolución espacial de los MCG, y la baja representación de detalles orográficos y costeros, hace necesario recurrir al uso de técnicas de regionalización y proyección local en el momento de estudiar los impactos.

El IPCC (2014) recoge los impactos a escala continental y mundial sobre las principales variables climáticas determinados a partir de proyecciones de diferentes modelos climáticos. Con carácter global, la previsión es que aumentará la temperatura media del planeta como consecuencia del incremento de las emisiones de los GEI. El aumento de la temperatura media, supone también un aumento en el vapor de agua disponible, como consecuencia la capa de nieve y el hielo disminuirán.

### **2.2.3. Escenarios de la Oficina Española de Cambio Climático**

En el año 2006, se puso en marcha en España, el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) con el fin de promover iniciativas de anticipación y respuesta al Cambio Climático (OECC, 2006). La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), fue la encargada de generar los primeros escenarios regionalizados para la geografía española. Para ello, ha utilizado fundamentalmente técnicas de regionalización ya desarrolladas y bases de datos existentes. También ha hecho uso de resultados provenientes de los proyectos europeos como el PRUDENCE, ENSEMBLE o el STARDEX (Gaertner, 2012). El informe presentado por AEMET, además de explicar los métodos de generación de los datos, analiza las limitaciones en un contexto lo más amplio posible. Incluye también secciones dedicadas a describir las incertidumbres del proceso de generación de proyecciones climáticas y secciones dedicadas a discutir cuestiones metodológicas. También dentro de este plan se han desarrollado una nueva generación de escenarios regionales que se nutre de la colaboración de distintos grupos de investigación e instituciones con experiencia en estos temas, organizados en dos acciones estratégicas del Plan Nacional de I+D+i 2008-11: una para la regionalización estadística (ESTCENA) y otra dinámica (ESCENA) (Gutiérrez et al., 2012).

Todos estos trabajos ofrecen regionalizaciones del clima futuro en España para el siglo XXI bajo 3 escenarios de emisiones considerado en el SRES: A2, A1B y B1, que en síntesis representan tres situaciones desde un futuro de uso más intensivo de combustibles fósiles (A2), a uno más moderado (B1) siendo el tercero de carácter intermedio (A1B), lo que permite barrer la incertidumbre asociada a las emisiones futuras de forma razonable. En general, el escenario A1B es el que más simulaciones presenta en Escenarios-PNACC, dado que todos los proyectos lo han abordado en todas las proyecciones. Los escenarios más extremos, A2 y B1, están disponibles para

la mayoría de simulaciones estadísticas, salvo en el caso del modelo HadGEM2, del que sólo se dispone del escenario A1B. Respecto a las regionalizaciones dinámicas, ESCENA ofrece proyecciones para los modelos ECHAM5 y CNRM-CM3-CM3 en ambos escenarios, A2 y B1, aunque ha abordado principalmente el escenario A1B en el resto de modelos.

Los productos numéricos indicados se presentan en forma de rejillas regulares y en forma de un conjunto de datos puntuales, dependiendo del método empleado en la regionalización. Los métodos dinámicos proporcionan productos en rejilla y los estadísticos en rejilla y en localidades puntuales. Los productos en rejilla ofrecidos en Escenarios-PNACC Datos mensuales usan una cuadrícula común y homogénea de una resolución de  $0,2^\circ$  (aprox. 20km.), que cubre la España peninsular y Baleares. Esta rejilla (Figura 13) corresponde a la utilizada en el desarrollo de la base de datos denominada SPAIN02 (Herrera et al., 2012), proyecto que ha generado capas en rejillas de análisis de precipitación diaria y temperaturas máximas y mínimas diarias en dicha cuadrícula, partiendo de una densa red de unas 2500 estaciones de la AEMET, que abarca el período comprendido entre 1950 y 2008 (Gutierrez et al., 2012).

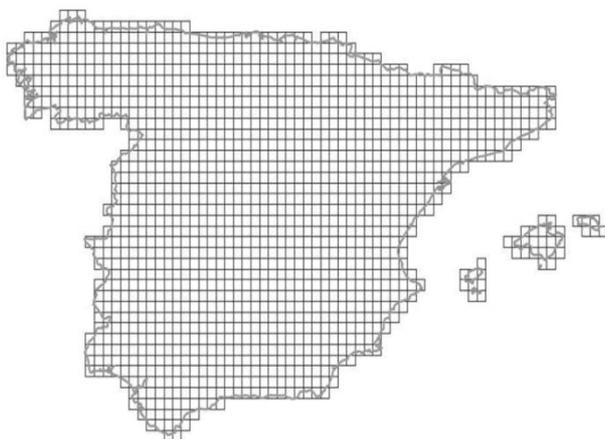


Figura 13 La rejilla regular de  $0,2^\circ$  (aproximadamente  $25 \text{ km}^2$ ) utilizada para el proyecto Spain 02 (Herrera et al., 2012)

La Figura 14 muestra la dispersión completa de las series anuales del ENSEMBLE, EsTcena y ESCENA para temperatura y precipitación, sin diferenciar entre distintos MCG y distintos métodos de regionalización correspondientes al escenario al escenario A1B.

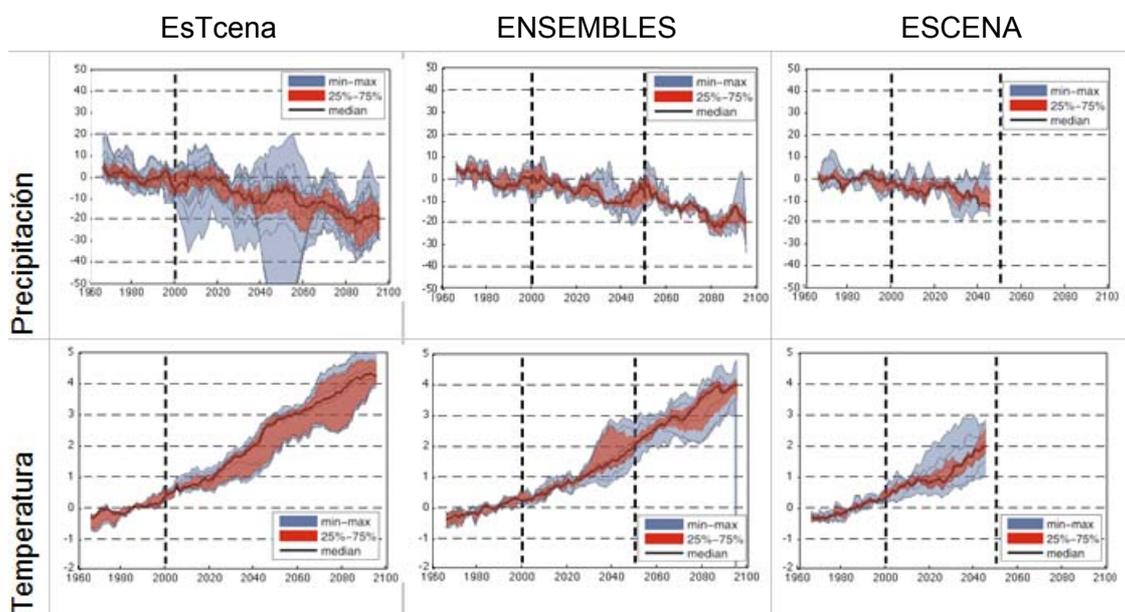


Figura 14 Comparación datos medios para España entre las proyecciones de EsTcena, ESCENA y ENSEMBLES (Gutiérrez et al., 2012)

### 2.3. Efectos de las variables climáticas 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 han 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.

### **2.3.1. Efecto de las variables climáticas**

El clima tiene una importante influencia en la fisiología de la vid a través de los distintos componentes. La temperatura, la lluvia, el déficit de presión de vapor, la evapotranspiración potencial, las horas de sol y el 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 5 se resumen las necesidades climáticas del cultivo según los periodos de crecimiento.

Tabla 5. 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 frío y lluvioso

### 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 todo los viñedos, ya que la cantidad de calor que la uva requiere para madurar completamente varía enormemente entre las diferentes variedades.

También la temperatura del aire en el periodo de maduración (Jackson y Lombard, 1993) 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 (Singleton y Esau, 1969; Kliewer y Torres, 1972; Kliewer, 1973; Tomana et al., 1979; Fregoni y Pezzutto, 2000; 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 periodos 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 6). 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 6 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 (Duteau et al., 1981; Matthews y Anderson, 1988; Van Leeuwen y Seguin, 1994; Trégoat et al., 2002; 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 (Seguin 1983; Méroutge et al., 1998; 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.

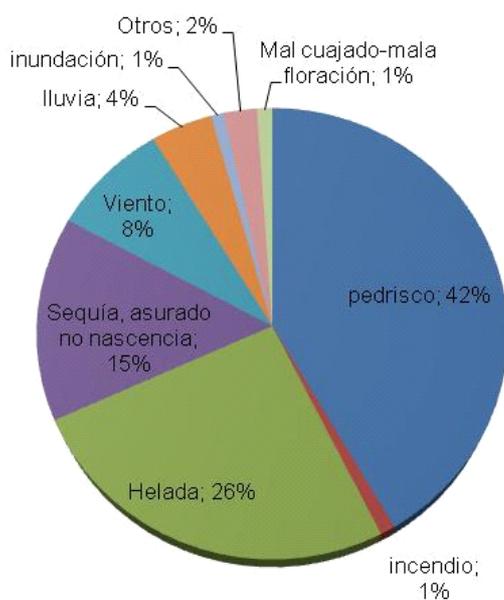
### **2.3.2. Adversidades causadas por extremos climáticos**

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,

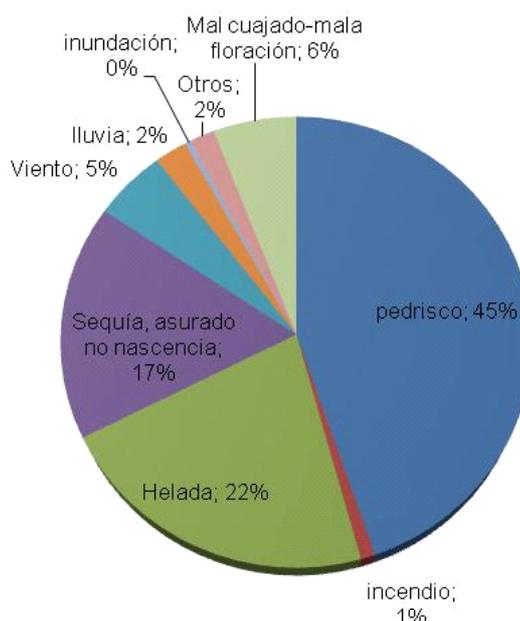
independientemente de su actividad productiva, ha padecido siniestros en alguna ocasión (ENESA, 2007).

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 15). 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).

Distribución del número de siniestros



Distribución del coste de siniestralidad



*Figura 15 Distribución del número de siniestros y de la siniestralidad dentro del sistema de seguros agrarios 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 15).

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.

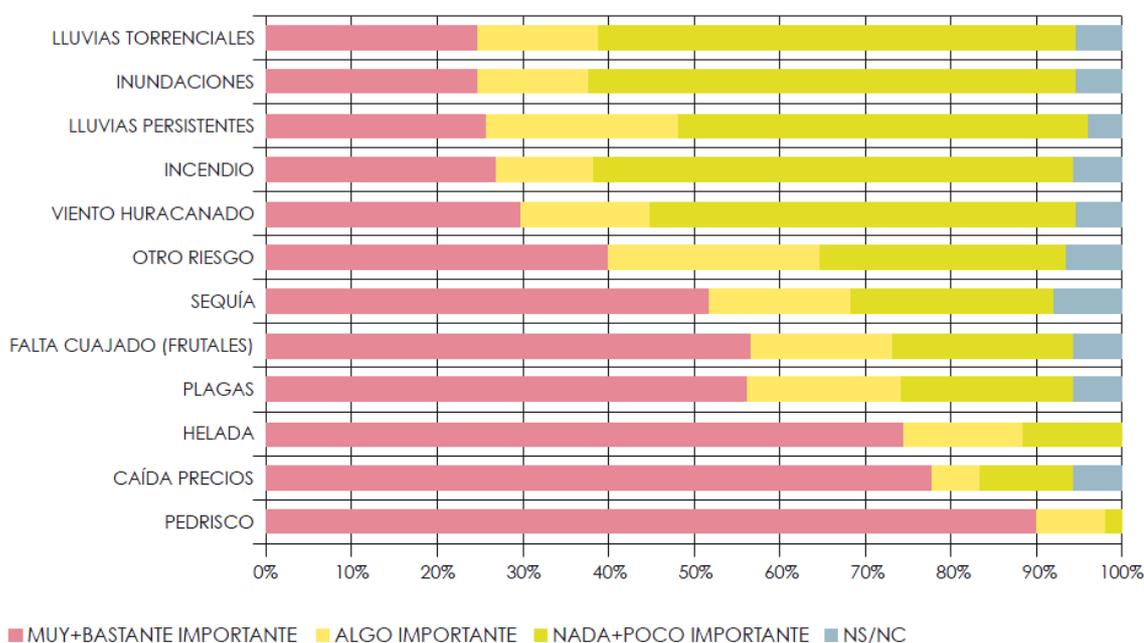


Figura 16. Percepción del riesgo por los agricultores en España (IKERFEL, 2009)

Tabla 7. 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

## **2.4. 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.

### **2.4.1. 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 (Hertel et al., 2010; Iglesias et al., 2011a), 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; EEA 2008; Stern 2007, Iglesias et al. 2011a). 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 y Siebert, 2002; 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 (Kenny y Harrison, 1992; Schultz, 2000; Jones et al., 2005; 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 8.

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 8. 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<sub>2</sub> podría resultar en una mayor acumulación de fruta y de la biomasa total, que estimula la fotosíntesis y el crecimiento (Kimball, 1993; Rogers, 1993). Hasta ahora se han realizado pocos estudios en campo que cuantifique la respuesta de la vid este aumento del CO<sub>2</sub>; (Bindi et al., 2001a; Bindi et al., 2001b), pero estos en general, concluyeron que el doblar los niveles de CO<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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<sub>2</sub> 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 (Vallesi y Howell, 2007; Simos, 2008; 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* (Hoddle, 2004; Martensson, 2007; Daugherty et al., 2009; De Orduna, 2010), 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.

#### **2.4.2. Estudios previos de vulnerabilidad en viticultura**

Gran parte del trabajo existente relacionado al Cambio Climático y la vulnerabilidad de la viticultura se puede clasificar en dos grandes grupos (Nicolas y Durham 2012). El primer grupo tiende a ser conducido biofísicamente, utilizando enfoques de arriba hacia abajo con las funciones de producción, tales como los de rendimiento de los cultivos (Challinor et al., 2009). Representan procesos adaptación a través de métodos como el cambio de modelos de cultivos de modelado (Seo y Mendelsohn, 2007), el modelo de valoración de Ricardo o hedónico (Mendelsohn et al., 1994), o el análisis de series temporales de respuestas de los cultivos a las condiciones climáticas (Parry et al., 2004; Lobell y Burke 2010; Lobell et al., 2011). El segundo grupo tiene un enfoque más social, generalmente empleando una perspectiva de abajo hacia arriba con un planteamiento de estudio caso por caso, y a menudo centrándose en los actores como unidad de análisis en un contexto de vulnerabilidad o resiliencia (Nelson et al., 2007; Adger et al., 2009; Lereboullet et al., 2013).

En el caso más específico del vino existen numerosos estudios específicos tanto del segundo grupo (Belliveau et al., 2006; Nicolas y Durham, 2012), como del primero, donde existen estudios conducidos biofísicamente (ej. Parra et al., 2010; Gonçalves, 2008) y sobre todo con análisis basados en el estudio de series temporales de clima mediante modelos de los efectos sobre los rendimientos de viñedos (ej. Bindi et al., 1996; Quiroga e Iglesias, 2009) y en la calidad (ej. Hayhoe et al., 2004; Jones et al., 2005; White et al., 2006; Malheiro et al., 2010).

Dentro de estos últimos, el estudio de la zonificación vitícola ha adquirido más importancia en los últimos años, alentado por los esfuerzos de todo el mundo para producir vinos de calidad para unos mercados altamente competitivos. Estos estudios se han venido realizando a escala continental, abarcando toda la superficie y no sólo la exclusivamente dedicada a la viticultura (White et al., 2006; Santos et al., 2012) o restringida a determinadas zonas vitivinícolas (Blanco-Ward 2007; Moriondo et al., 2013; Fraga et al., 2014). 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 así 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, de base empírica o mecanicista (Amerine y Winkler, 1944; Dumas et al., 1997; Jacquet y Morlat, 1997; Tonietto y Carbonneau, 1998; Bois et al., 2008). 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 multi-criterio mediante la combinación de los índices que proporcionan información complementaria.

Entre los índices más usados destaca el índice de Winkler, que traza la fenología de la vid como la suma de las temperaturas activas, lo que permitió por ejemplo en California la división en zonas que representan correctamente diversas calidades de la uva y algunas de las características del vino como resultado de la influencia climática de esta zona (Winkler et al., 1974). Con una aplicación a escala más global, el índice de Huglin (Huglin, 1978) calcula un cúmulo de temperaturas en particular, que se realiza teniendo en cuenta la influencia de la temperatura al mediodía (temperaturas cercanas a las máximas), que es cuando la actividad fotosintética de la vid alcanza su punto álgido. Además, presenta un coeficiente de duración del día, que depende de la latitud, para integrar la duración de la actividad fotosintética, mayor en la estación vegetativa de la vid hacia latitudes altas

Pero la complejidad de los procesos en la uva no podría explicarse sólo con un solo índice. La temperatura del aire en el periodo de maduración (Jackson y Lombard, 1993) o más aún el frescor de las noches (Singleton y Esau 1969; Kliewer y Torres,

1972; Kliewer, 1973; Tomana et al., 1979; Fregoni y Pezzutto, 2000; Tonietto y Carbonneau, 2004) tienen grandes influencias en la maduración, incluyendo aromas y coloración. La importancia de la disponibilidad de agua para la calidad también viene respaldada por muchos estudios (Seguin, 1983; Méroutge et al., 1998; Carbonneau, 1998) y se ve reflejada con un índice específico de potencial hídrico de los suelos para la vid (Riou et al., 1994) que permite delimitar regiones según la disponibilidad de agua para la vid.

De forma integral en 2004 se desarrolló la Clasificación Climática Multicriterio de Geoviticultura (CCMG) (Tonietto y Carbonneau, 2004), un sistema de clasificación climática de regiones vitícolas sobre la base de la integración de las diferentes clases de los tres índices climáticos más importantes (Huglin, Frescor Nocturno y Sequía) que establece el clima de cada región vitícola y permite a las regiones clasificarse y agruparse.

Precisamente para identificar adecuadamente los potenciales efectos del Cambio Climático en la viña se han venido utilizando algunos de estos índices agroclimáticos (Kenny y Harrison, 1992; Schultz, 2000; Jones et al., 2005; White et al., 2010; Santos et al., 2012), y así estimar la idoneidad de ciertas variedades, estilos de vino y definir cambios en el *terroir* (Winkler, 1974; Tonietto y Carbonneau, 1999; Carbonneau, 2003; Seguin y de Cortazar, 2005; Jones et al., 2010;) en escenarios futuros de Cambio Climático. Obviamente las necesidades de adaptación en cada región dependerán de la magnitud de estos potenciales impactos y en la capacidad de los sistemas enfrentarse a estos cambios (Jones 2012; Smit y Wandel, 2006).

## **2.5. Estrategias y capacidad de adaptación de la viticultura**

La viticultura en España se enfrenta a serios desafíos en las próximas décadas debido a la mayor competencia por los recursos hídricos, el aumento de costes derivados de las políticas de protección ambiental, la pérdida de la ventaja comparativa en relación a las agriculturas internacionales, la competencia en los mercados internacionales, el Cambio Climático y los factores físicos, y la incertidumbre en la eficacia de las políticas europeas actuales y de las estrategias de adaptación (Iglesias et al., 2006). La

capacidad del sector de poner en marcha herramientas de adaptación determinará la vulnerabilidad a todos estos desafíos.

Naciones Unidas (ONU, 2004) distingue cuatro grupos de factores de vulnerabilidad que son relevantes en el contexto de la reducción de desastres: factores físicos, que describen la exposición de elementos vulnerables dentro de una región; factores económicos, que describen los recursos económicos de los individuos, grupos, poblaciones y comunidades; factores sociales, que describen los factores no económicos que determinan el bienestar de los individuos, grupos de población y comunidades, tales como el nivel de educación, la seguridad, el acceso a los derechos humanos básicos, y el buen gobierno; y los factores ambientales, que describen el estado del medio ambiente dentro de una región. Estos factores determinan no sólo la exposición o la sensibilidad, también la capacidad de implantar medidas de adaptación para minorar los impactos a distintos riesgos como el Cambio Climático. Todos estos factores junto con las posibles herramientas de adaptación se recogen en la Figura 17, donde se han resumido las interrelaciones algunos de los más importantes factores que influyen en la economía y en la vulnerabilidad de la viticultura, y que sirven como resumen de todo lo estudiado en este capítulo.

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.

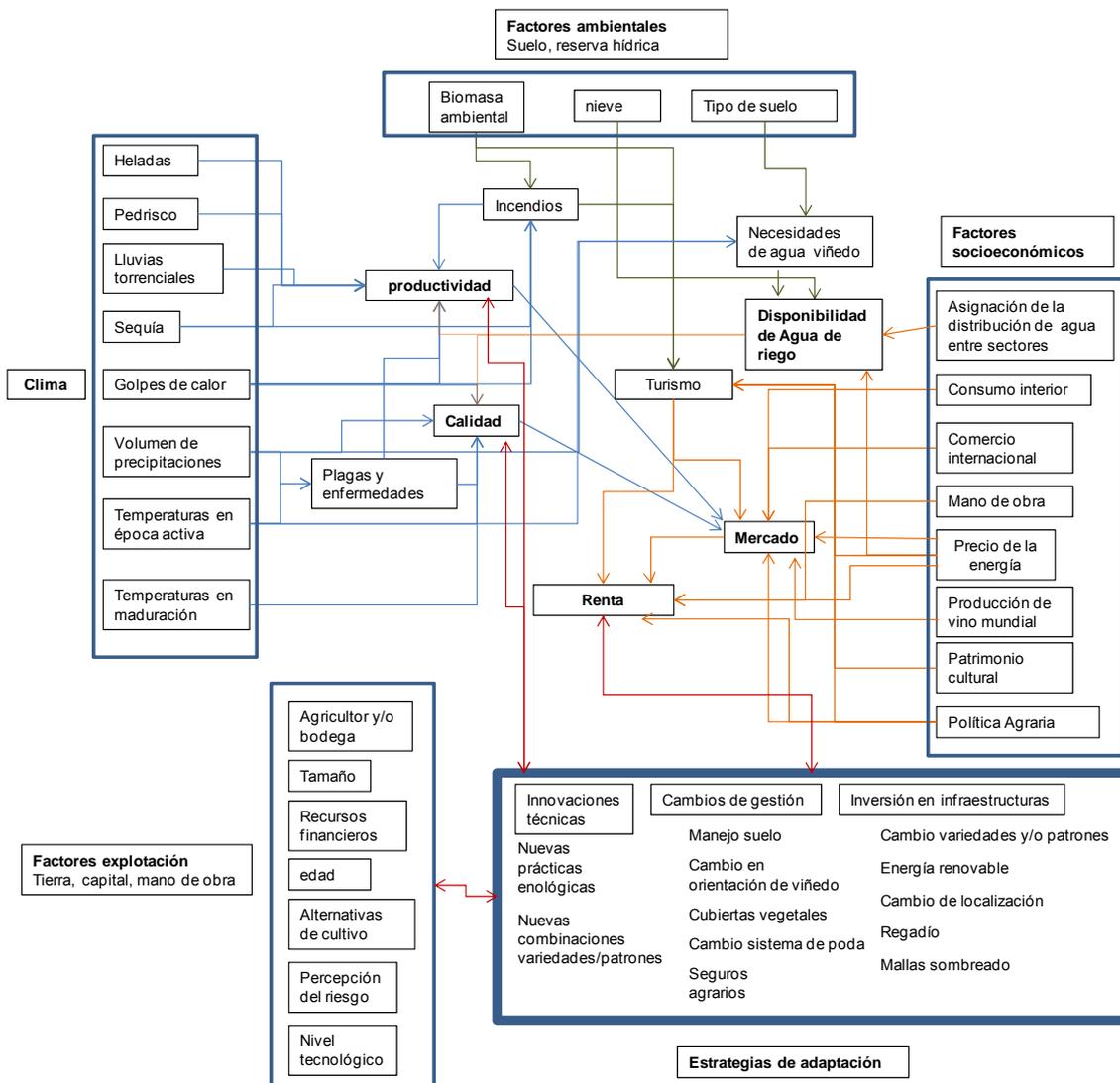


Figura 17 Resumen de algunos de los principales factores que afectan a la vulnerabilidad de la viticultura al Cambio Climático.

Todas las medidas de adaptación tienen efectos más o menos marcados y a su vez, tienen niveles distintos de posibilidades y escala de aplicación, tiempo de implantación o de costes.

Dentro de las técnicas incluyen todas aquellas innovaciones dentro del ámbito enológico como agronómico, que de forma paliativa en el primer caso sirvan para corregir oscilaciones de la calidad de la uva. En el ámbito agronómico estas innovaciones servirían para de forma preventiva, evitar los desequilibrios o pérdidas ocasionados por el Cambio Climático (como por ejemplo cambio por nuevos cultivares/patrones).

En el caso de las medidas de gestión existen también medidas preventivas desde el punto de vista agronómico, o paliativo si actúan sobre la renta. En el primer caso los sistemas de formación y poda (Bergvist et al., 2001), el sistema de riego o el tipo de laboreo son importantes herramientas que pueden ayudar a una mejor adaptación.

En el segundo caso, los programas de seguros agrícolas también ofrecen alternativas de gestión de riesgos climáticos (Dismukes et al., 2004; Hardaker et al. 2004; Quiroga et al., 2009), siendo una de las herramientas más utilizadas en España para prevenir impactos de adversidades climáticas en la renta de los agricultores es el seguro agrario. Actualmente el seguro del viñedo en España cubre cualquier riesgo climático que afecte a la producción, a la calidad o que pueda causar la muerte de la cepa, incluyendo también algunas plagas y enfermedades. El seguro del viñedo está subvencionado por las Administraciones Públicas en España tanto central como autonómica. Esta subvención puede variar desde un 22 % a un 65 % dependiendo del tipo de seguro (cuantos más riesgos cubra y con franquicias más altas mayor será la subvención). Precisamente esta política de subvenciones ha cambiado la tipología del seguro contratado. Tradicionalmente en el seguro de del viñedo, las contrataciones se han volcado en los seguros combinados, en los que se cubrían principalmente el pedrisco y opcionalmente la helada. Por el contrario los seguros de rendimiento, en los que se cubría todas las adversidades climáticas fijando un rendimiento histórico, han tenido históricamente poca implantación. La nueva orientación de esta política está convirtiendo al seguro de rendimiento en la opción mayoritaria a la hora de contratar. El nivel de aseguramiento actual se mantiene en torno al 40 % de la superficie total. En cuanto a la producción, este porcentaje desciende al 29 %, debido predominantemente a la limitación impuesta en los seguros al rendimiento máximo asegurable a un máximo de 14.000 kg/ha.

Por último, las medidas infraestructurales, que incluyen medidas como las inversiones en regadío, cambio de localización del cultivo, mallas de sombreo o la instalación de

energías renovables (para estabilizar el coste de la energía), en general van a tener un coste más alto, con periodos de amortización más largos.

permite

La capacidad que tenga el sector para adoptar las estrategias que más se adapte a las necesidades de una región o una explotación, estableciendo prioridades en función de las disparidades regionales identificadas (Iglesias et al., 2011b), determinará su vulnerabilidad. Esta capacidad vendrá definida por una serie de factores socioeconómicos externos e internos o de explotación, y que definen las posibilidades técnicas, humanas y económicas de implantar las medidas necesarias.

Los factores socioeconómicos externos delimitan en gran medida la rentabilidad de la viticultura al actuar sobre el mercado, los costes de la viticultura y los incentivos que puedan provenir del sector público para realizar las inversiones. En el caso de los factores de explotación delimitarán la propia capacidad de la explotación para implantar estrategias de adaptación, como son la edad, los recursos financieros, la capacidad de introducir innovaciones técnicas en la explotación, la economía de escala y la percepción que tenga del riesgo.

### 3. Metodología y datos

La metodología persigue el logro del objetivo de este trabajo, que es analizar las principales necesidades de adaptación y la vulnerabilidad de la viticultura en España para ayudar al desarrollo de nuevas políticas. Para ello, se ha buscado delimitar los riesgos y oportunidades para la viticultura en España y los esfuerzos que cada una de las regiones tiene que realizar para adaptarse a los nuevos escenarios climáticos.

Para la consecución de este objetivo general y todos los específicos se ha seguido el marco metodológico que aparece resumido en la Figura 18. En primer lugar se delimitado la zona de estudio y seleccionado los mejor datos climáticos disponibles para este tipo de estudios. Basándose en la literatura existente, se han elegido una serie de índices agroclimáticos representativos de los principales riesgos ocasionados por eventos climáticos extremos asociados al Cambio Climático, y representativos del potencial climático en cuanto a producción y calidad.

En segundo lugar, para detectar los riesgos y oportunidades se ha evaluado la exposición y la sensibilidad de la viticultura al Cambio Climático en relación a la producción y a la calidad. Para ello se ha analizado la variación de los índices seleccionados así como su incertidumbre a través de los resultados para el conjunto de escenarios climáticos seleccionadas.

Por último, se analizado analiza el esfuerzo que de cara a la adaptación necesita afrontar cada una de las zonas para delimitar prioridades a la hora de implantar distintas estrategias de adaptación. Con este fin se ha medido la necesidades de adaptación desde un punto de vista agroclimático, así como la capacidad relativa de cada una de las regiones para afrontar dichas necesidades desde un punto de vista socioeconómico.

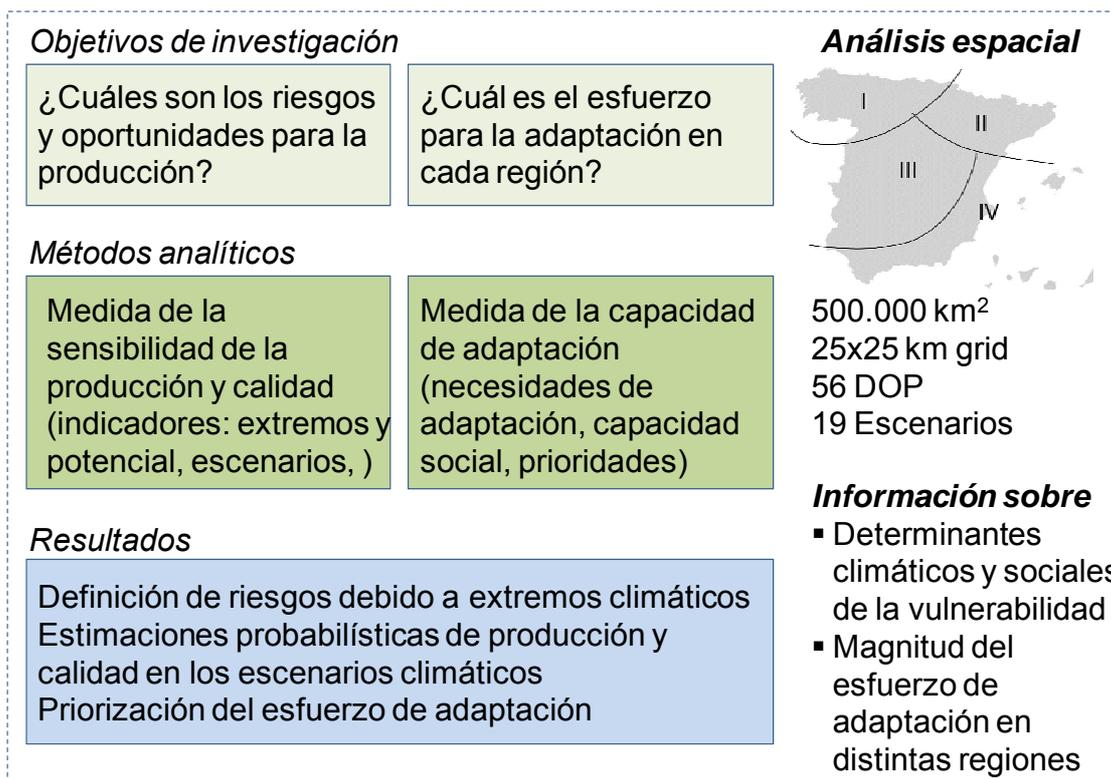


Figura 18. Marco metodológico

### 3.1. Zonas de estudio

La vid es un cultivo totalmente adaptado a las condiciones climáticas de la Península Ibérica como demuestra su fuerte implantación en prácticamente todos los territorios. No obstante, la diversidad climática en la Península, ligada a su compleja topografía y situación geográfica, determina que existan grandes diferencias dentro de la viticultura en España.

Para concentrar toda esta diversidad y recoger los cambios en el potencial climático para la viticultura, el estudio sobre el Cambio Climático se extiende a toda la superficie, pero centrándose en las principales regiones vinícolas, concretamente en las 56 DOP que existían en el momento en el que se empezó el trabajo en 2009. Se han excluido los clasificados como Vinos de Pago por ser demasiado específicos de determinados microclimas. Para facilitar su estudio, estas 56 DOP se agruparon en cuatro regiones agroclimáticas principales (Figura 19), teniendo en cuenta criterios de

proximidad y homogeneidad dentro de la clasificación climática de Köppen. Las características de estas Regiones se explican a continuación:

Región I: con una gran influencia atlántica, es la más fría y húmeda de la Península Ibérica. Posee un clima templado sin estación seca pronunciada y las temperaturas locales muy bajas que limitan el potencial de madurez y el contenido de azúcar; la Región incluye vinos blancos comercialmente interesantes elaborados con variedades individuales (ej. las Rías Baixas y Albariño).

Región II: tiene un clima mediterráneo con influencia continental y una estación seca y caliente muy pronunciada. Es la principal zona productora en volumen y la principal exportadora de vino a granel (ej. Castilla-La Mancha), aunque también se producen algunos de los nuevos vinos de alta gama en la parte norte (ej. Ribera del Duero).

Región III: que representa el noreste de España, posee clima mediterráneo templado. En ella se producen muchos de los vinos de calidad *premium* (ej. Rioja).

Región IV: zona sur del Mediterráneo, muy caliente y seco que tradicionalmente produce vinos fortificados (ej. Jerez).

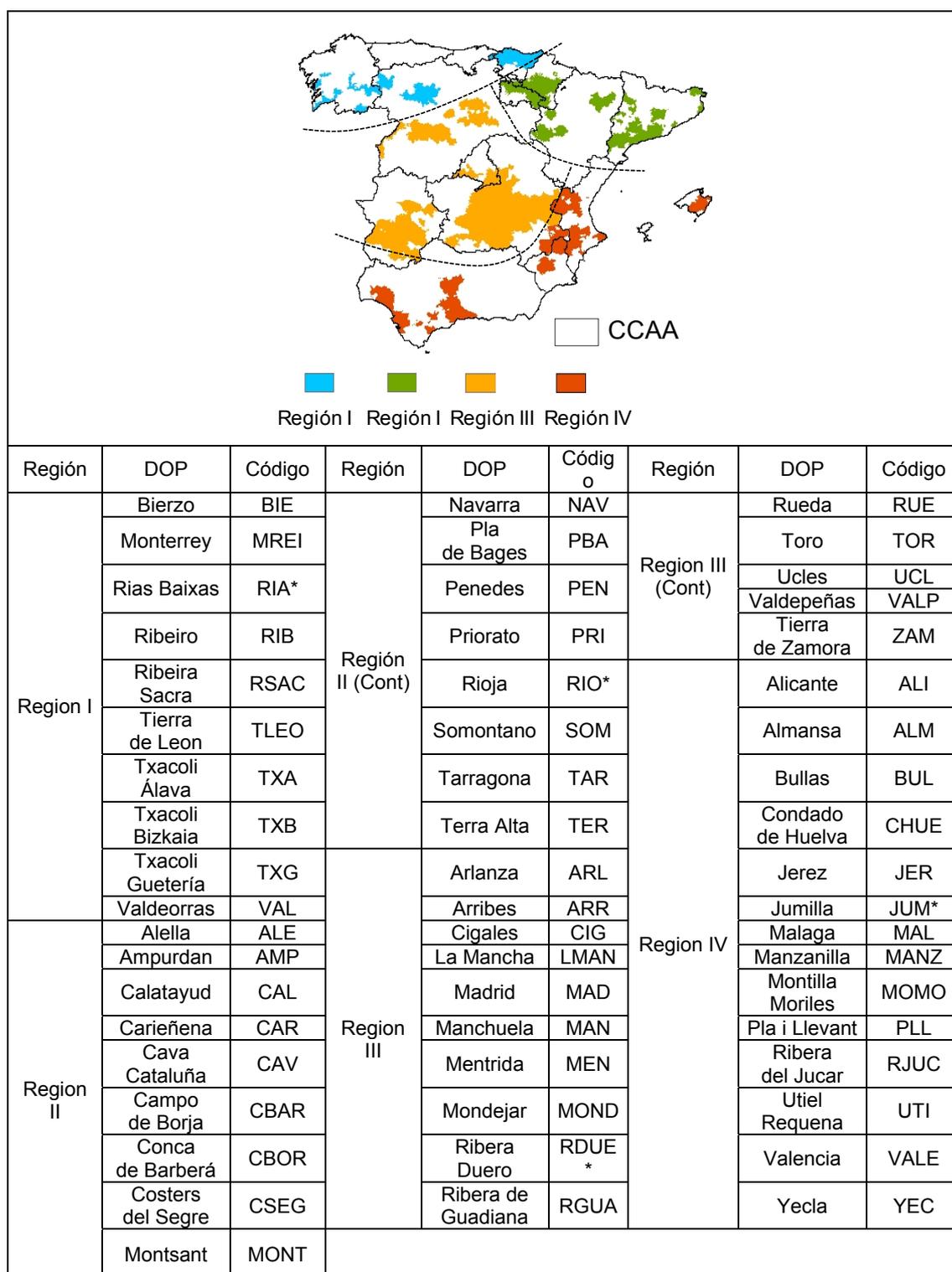


Figura 19. Regiones y Denominaciones de Origen Protegidas incluidas en el trabajo.

### 3.2. Datos 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, 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. La existencia de diferentes formulaciones en los MCR introduce un nuevo elemento en la cadena de incertidumbres de la proyección del clima futuro (Fernández et al., 2008). También cada MCR posee distintos sesgos respecto a la realidad observada, a parte de los aportados por los MCG.

Entre los estudios disponibles, destacan el proyecto PRUDENCE (Christensen y Christensen, 2007) o el más reciente ENSEMBLES (Van der Linden y Mitchell, 2009) con escenarios de alta resolución a escala europea y que recogen un periodo de estudio que abarca hasta el año 2100.

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. ESCENA añade también dos modelos regionales que no estaban presentes en proyectos europeos (MCR incluidos MM5 y WRF) y explora aparte del escenario A1B utilizado en ENSEMBLES, los escenarios A2 y B1 (Fernández et al., 2007, Jerez et al., 2012) (Tabla 9).

*Tabla 9. Matriz de proyecciones de ESCENA, con las distintas combinaciones MCG/MCR para las que están disponibles las variables. Cada cruz (+) representa 50 años de simulación: 1951-2000 (escenario de control o CTRL) o 2001-2050 (escenarios A1B, A2 y B1) (Fernández et al., 2012)*

GCM	Escenarios	ESCENA				
		PROMES	MM5	REMO	WRF-A	WRF-B
ECHAM5 r2	CTRL	+	+	+	+	+
	A1B	+	+	+	+	+
	A2	+	+		+	
	B1	+	+	+		
CNCM3	CTRL	+	+			
	A1B	+	+			
	B1	+	+			
HadCM3 Q3	CTRL	+	+			
	A1B	+	+			
HadCM3 Q16	CTRL	+	+			
	A1B	+	+			

El proyecto ESCENA desarrolla 19 escenarios de Cambio Climático contruidos 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 (Tabla 9). A partir de los cuales se obtienen una serie de variables (Tabla 10)

Tabla 10. Variables de salida del proyecto ESCENA. se muestra la máxima resolución temporal disponible: instantánea cada 3/6/12 horas (3h/6h/12h), instantánea diaria a las 0:00 horas (d0), promedio/acumulado/máximo/mínimo diario (d). las variables 3d es están disponibles en niveles de presión: (A) 1000, 925, 850, 700, 600, 500, 400, 300 Y 100 HPA, (B) 1000, 925, 850 Y 700 HPA, (C) 850, 700 Y 500 HPA, (D) 1000, 850, 700 Y 500 HPA (Fernández et al., 2012)

variable	abreviatura	frec.	unidades
<b>Variables 2D</b>			
Temperatura del aire a 2m	tas	3h	K
Temperatura máx/mín del aire a 2m	tasmax / tasmin	d	K
Temperatura superficial máx/mín	tsmax / tsmin	d	K
Temperatura superficial del mar	sst	d0	K
Velocidad U/V del viento a 10 metros	uas / vas	3h	m s-1
Velocidad máx. del viento a 10 metros	wssmax	d	m s-1
Humedad específica a 2m	huss	3h	kg kg-1
Humedad relativa a 2m	hurs	3h	1
Humedad relativa máx/mín a 2m	hursmax / hursmin	d	1
Temperatura del punto de rocío a 2m	tdps	3h	K
Presión al nivel del mar	psl	3h	Pa
Presión en superficie	ps	3h	Pa
Precipitación	pr	d	kg m-2 s-1
Precipitación máxima en una hora	prhmax	d	kg m-2 s-1
Precipitación de gran escala	prls	d	kg m-2 s-1
Precipitación convectiva	prc	d	kg m-2 s-1
Agua precipitable	prw	d	kg m-2
Precipitación en forma de nieve	prsn	d	kg m-2 s-1
Evaporación	evspsbl	3h	kg m-2 s-1
Nubosidad total (fracción)	clt	d	1
Flujo de calor sensible/latente en superf.	hfss / hfsl	3h	W m-2
Flujo de calor hacia el suelo	hfso	d	W m-2
Rad. onda corta/larga neta en superf.	rss / rls	d	W m-2
Rad. onda corta/larga incidente en superf .	rsds / rlds	d	W m-2
Rad. onda corta/larga neta en el tope atm.	rst / rlut	d	W m-2
Rad. onda corta incidente en el tope atm.	rsdt	d	W m-2
Humedad en los 10 primeros cm del suelo	mrsos	d	kg m-2
Humedad total del suelo	mrso	d0	kg m-2
Acumulación de nieve en superficie	snw	d0	kg m-2
Escorrentía superficial	mrros	d	kg m-2 s-1
<b>Variables 3D (en niveles de presión)</b>			
Altura geopotencial <sup>(A)</sup>	zg	6h	m
Humedad relativa <sup>(B)</sup>	hur	6h	1
Velocidad del viento U/V <sup>(C)</sup>	ua / va	12h	m/s
Temperatura <sup>(D)</sup>	ta	d0	K

Las simulaciones realizadas comparten un dominio mínimo que cubre todo el territorio español, incluidas las Islas Canarias, aunque cada modelo ha utilizado un dominio diferente (Figura 20). La resolución horizontal es aproximadamente de 25 km.

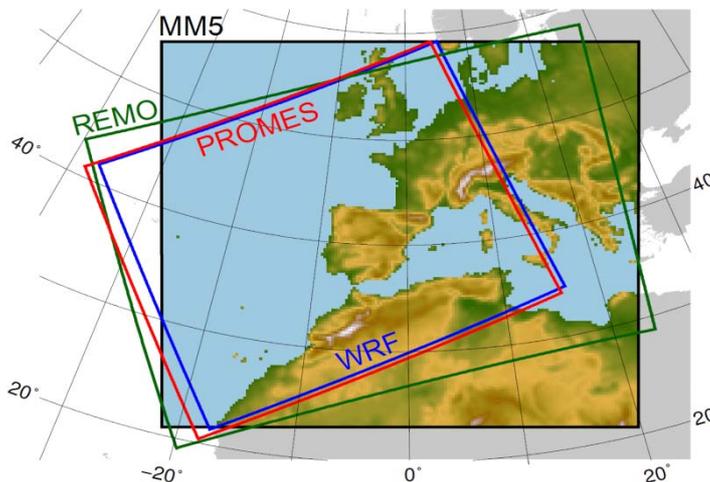


Figura 20. Dominio de la simulación usados por el proyecto ESCENA (Fernández et al., 2008)

Como una indicación de la calidad de las simulaciones generadas en ESCENA, Jiménez-Guerrero et al.,(2013) compara los valores de correlación espaciales para precipitación deducida con los obtenidos para los ENSEMBLES incluidos en Herrera et al. (2010). Ese trabajo clasifica los modelos climáticos regionales en 2 grupos, de acuerdo con una brecha en la correlación espacial de las precipitaciones. De acuerdo con esta clasificación, todos estos modelos individuales en ESCENA estarían en el grupo de los modelos más adecuados. Además, la media del conjunto de ESCENA es similar a la mejor del conjunto de ENSEMBLES. Por lo tanto, la capacidad de reproducir al menos la precipitación en ESCENA es alta.

Los resultados de temperatura pueden ser cualitativamente comparables con los mapas de polarización mostrados por van der Linden y Mitchell (2009), que muestran sesgos típicos dentro ENSEMBLES similares a los encontrados en ESCENA. Los modelos de temperatura atípicos en ENSEMBLES muestran sesgos mucho más

grandes que los de ESCENA. Por lo tanto, en general, las 5 simulaciones climáticas regionales incluidas en ESCENA muestran buena calidad en la reproducción de la climatología, a pesar de que estos modelos se basan en enfoques y parametrizaciones físicas completamente diferentes.

Por todo ello para la elección de los datos de Cambio Climático se ha seleccionado la base de datos generada por ESCENA, ya que muestran una mayor calidad y son más representativas de la zona de estudio

El clima histórico de referencia se obtuvo de la Agencia Española de Meteorología (AEMET), que dentro de la base de datos SPAIN2 (Herrera et al., 2012), incluye un conjunto de datos climáticos de España para el periodo 1951-2008 dentro de una rejilla de datos diarios con la misma resolución que la usada para ESCENA.

### **3.3. 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.

#### **3.3.1. 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  $T_{max} > 35$  °C), a los que iría

asociado una posible pérdida de calidad, el aumento de días muy cálidos (con  $T_{max} > 40$  °C), asociados a graves pérdidas de calidad y el aumento del número de años con al menos un día muy cálido.

### **3.3.2. 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.

## **3.4. 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, de base empírica o mecanicista (Amerine y Winkler 1944; Dumas et al., 1997; Jacquet y Morlat 1997; Tonietto y Carbonneau, 1998; Bois et al., 2008). 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 11 se encuentran de forma más esquemática junto con las fórmulas que definen cada uno de los índices.

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 heliotérmicas 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 una cosecha de un año.

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 favorable 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.

Por último el índice de Sequía permite la caracterización de la 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 encuentra 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 11. Índices agroclimáticos usados en el Estudio (Tonnieto y Carbonneau, 2004)

Índices	Fórmula	Clases	Rango de valores
<b>Índice Huglin o Heliotérmico (HI)</b>  Caracteriza la idoneidad en general del tipo de viticultura y de la variedades en particular en localizaciones concretas	$\sum_{1 \text{ Abril}}^{30 \text{ Sept}} \frac{[(T_{\text{media}} - 10) + (T_{\text{max}} - 10)]}{2} * d$ 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
<b>Índice de Frescor Nocturno(CI)</b>  Caracteriza color y aromas de uvas	$CI = T_{\text{min September}}$ 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
<b>Índice de Sequía (DI)</b>  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

### 3.5. Análisis de datos

Para poder utilizar la gran cantidad de información proporcionada por las salidas de las simulaciones de los escenarios climáticos e integrar todos los métodos y modelos aplicados para el estudio, se utilizó el entorno de desarrollo MATLAB así como el programa ARCGIS para la representación gráfica de los resultados.

El proceso metodológico empleado se basa en los resultados de las simulaciones de las variables climáticas en los escenarios de control y en los escenarios de Cambio Climático extraídos de los datos de ESCENA y en históricos reales extraídos de SPAIN02 y usados para el cálculo de los distintos índices.

Esta metodología permite abordar de una manera integral el impacto del Cambio Climático en la viticultura y establecer necesidades de adaptación y de gestión en concordancia con los impactos y las prioridades identificadas en las zonas de estudio.

### **3.5.1. Generación de series temporales de las variables climáticas**

Las series temporales en estudio se han restringido los periodos de 30 años ya que Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha establecido este tiempo (Trewin, 2007) como un periodo estándar para poder homologar los estudios del clima y facilitar las posibles comparaciones. Los bloques seleccionados son el 1971-2000 y que representa el periodo actual, por ser el periodo más próximo al actual con datos disponibles en el momento en el que se empezó a desarrollar el trabajo en la base de datos SPAIN02; y 2021-2050 que representa las condiciones de Cambio Climático. La selección de este último se basa en primer lugar en que las viñas son cultivos perennes con sensibilidad a la temperatura demostrada y una vida útil productiva 20-50 años, lo que puede limitar el alcance temporal de las opciones de adaptación (Hayhoe et al., 2004; Salinari et al., 2006; Webb, 2006; White et al., 2006; Nicolás y Durham, 2012). En segundo lugar, dada la variedad de estrategias de adaptación, su eficacia, coste y la dificultad de su implantación, es importante considerar que para las nuevas plantaciones puede tardar de 15 a 30 años para amortizar la inversión completamente (Lobell, 2008). De esta forma, las conclusiones acerca de estas estrategias serían aptas para su implantación a corto y medio plazo.

A la hora de trabajar con las series temporales, los datos extraídos directamente de los MCR no pueden ser utilizados para estudios de impacto, ya que contienen sesgos importantes cuando se comparan con las observaciones. Para evitar procesos de calibración de los MCR se trabaja de dos formas. En primer lugar, sólo con los resultados de los índices con datos extraídos de modelos climáticos, comparando un periodo de referencia y las proyecciones con Cambio Climático. Este método proporciona resultados con sesgos importantes pero son útiles para el cálculo de tendencias, variaciones o estudio de la variabilidad interanual. En segundo lugar y, para analizar los resultados finales en el análisis del potencial climático para la viticultura, se utiliza el denominado método delta (ej. Hay et al. 2000; Zahn y von Storch, 2010).

El método delta opera mediante la obtención de incrementos o disminuciones, en lugar de valores reales, comparando escenarios futuros en determinados periodos de tiempo con escenarios simulados por el mismo modelo en el escenario de control. Los incrementos obtenidos de este modo pueden sumarse a una climatología base de referencia con datos realmente observados, para obtener así los valores reales de las proyecciones de clima futuro para corregir los sesgos sistemáticos del modelo y capturar la heterogeneidad espacial en los datos climáticos (White y Jones, 2006).

En este caso, para el cálculo del escenario futuro corregido se utilizaron dos conjuntos de simulaciones de 30 años para España realizadas dentro del proyecto ESCENA: una integración de referencia (RF) para las condiciones de finales del siglo XX con datos climáticos del periodo 1971-2000 y otra para el clima futuro en condiciones de Cambio Climático (F) en el periodo 2021-2050.

Para aplicar el método delta, primero se obtuvieron las variables climáticas de las simulaciones de los modelos climáticos RF y F, que sirven para calcular cada uno de los índices, como son la precipitación, la temperatura máxima, la temperatura mínima, velocidad del viento y humedad relativa y se calcularon las medias mensuales para los dos periodos.

A continuación se calcularon las diferencias simuladas (F menos RF) para cada una de las medias mensuales de todo el periodo, proyectando esos datos sobre una base de datos observados, es decir añadiendo los valores de diferencia a las variables medias mensuales extraídas de la rejilla de SPAIN02 para crear para obtener así los valores corregidos de las proyecciones de clima futuro (escenarios  $\Delta$ ). Posteriormente para cada punto georreferenciado se determinan los valores de los índices para todo el periodo de estudio.

### **3.5.2. Análisis de la frecuencia de eventos climáticos extremos**

Para calcular los distintos efectos que puede tener el Cambio Climático sobre algunos de los eventos climáticos adversos que tienen más importancia en el viñedo, la metodología empleada se centra en estudiar los cambios en las métricas climáticas de temperaturas consideradas más representativas (Tabla 12) previamente en este trabajo.

El método delta no representa bien los extremos climáticos (Dequé, 2007), por lo que se trabaja directamente con los resultados de los modelos. Para evitar tener que corregir el sesgo en los resultados finales únicamente se utilizan las variaciones entre el periodo de referencia (1971-2000) y el periodo con Cambio Climático (2021-2050).

*Tabla 12. Variables climáticas analizadas para el análisis de los cambios en algunos riesgos de la viticultura con el Cambio Climático*

Riesgo	Impacto en el viñedo	Variables climática analizada
Olas de calor	Afectan la creación de taninos y la calidad en general	Número de días con Tmax mayor de 35 °C o mayores de 40C para el periodo actual y en los escenarios climáticos
	Daños, en hojas, racimos y tallos	Número de años con al menos un día con Tmax mayor de 40 °C para el periodo actual y en los escenarios climáticos
Heladas	Afectan a la calidad y la productividad	Número de días con T mínima menor de 0 °C Fecha de última helada

Para entender la influencia de estos cambios sobre la viticultura actual, se ha analizados la componente de riesgo que existe asociada a cada uno de las diferentes adversidades climáticas. Para ello, se han obtenido las probabilidades de siniestro de los principales riesgos climáticos con datos actuariales de las primas seguro agrario siguiendo el esquema del Anejo 2.

### **3.5.3. Índices de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía**

El impacto que tendría el Cambio Climático en el potencial climático para la viticultura en España se analiza por medio del análisis de las variaciones en índices agroclimáticos, que determinan el potencial de cada región. Para ello, se estudia la tendencia, que determina como se van a producir los cambios a lo largo del tiempo, la variabilidad interanual que determina una incertidumbre específica asociada a cada modelo climático, la magnitud de los cambios para todo el periodo, que determina el impacto potencial y las diferencias en esa magnitud entre cada uno de los modelos, que determina una incertidumbre genérica.

El cálculo de la tendencia se efectúa sobre las variaciones de los índices en todas las DOP con medias móviles decenales a lo largo del periodo de estudio únicamente con los datos extraídos de los modelos. Para ello, se acumulan los incrementos anuales respecto al periodo 1971-2000, de manera que el primer valor corresponde a los primeros diez años de la serie y el siguiente a los diez años contados a partir del primer año y, así sucesivamente hasta completar todo el periodo de la serie.

Los cambios en la variabilidad anual se calcula comparando la desviación estándar de los valores anuales de cada índice en todas las DOP del periodo de referencia (1971-2000) con el periodo de Cambio Climático (2021-2050) para cada MCR. Posteriormente se analiza cuantos MCR tienen una desviación estándar mayor para el periodo de Cambio Climático que en el periodo de referencia y las diferencias existentes en ésta entre ambos periodos.

Para analizar la magnitud del cambio en el potencial climático para la viticultura se comparan los resultados finales de los índices agroclimáticos entre los escenarios generados con el método delta (escenarios  $\Delta$ ) para el periodo 2021-2050, con los resultados obtenidos a partir de los datos climáticos de SPAIN02 para el periodo 1971-2000. Se utilizan tres parámetros al comparar ambos resultados: cambios en la superficie total de España de cada clase climática y para cada índice; cambios en la superficie de España y de la DOP de clases con muy alto y muy bajo potencial vitícola; e incertidumbre asociada al conjunto de los modelos.

Las zonas vitícolas con alto potencial climático se consideran que son aquellas que, atendiendo a las descripciones de Tonietto y Carboneau (2004), simultáneamente estén encuadradas en alguna de las clases de clima siguientes según los índices de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía:

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)

Las zonas vitícolas con bajo potencial climático se consideran que son aquellas que, simultáneamente estén encuadradas en alguna de las clases de clima siguientes según los índices de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía:

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)

Para el análisis de la incertidumbre se comparan las variaciones respecto al periodo de referencia para todo el periodo entre los distintos escenarios  $\Delta$ .

### **3.6. Esfuerzo de adaptación**

La capacidad de adaptación, o el grado en que se pueden satisfacer unos determinados niveles necesarios de adaptación, depende en gran medida de la interacción compleja de factores ecológicos y socio-económicos (Lereboullet, 2013). En este estudio, esta interacción se estudia mediante la determinación de las necesidades de adaptación, que hacen necesarias diferentes estrategias de adaptación y que a su vez se pueden clasificar en función de su dificultad y de su eficacia. La capacidad de implantación de estas estrategias dependerá a su vez de factores socioeconómicos que pueden limitar o favorecer determinadas medidas dentro de estas estrategias y que la política de adaptación deberá tener en cuenta.

#### **3.6.1. Evaluación de las necesidades de adaptación**

En Tonietto y Carbonneau (2004) se definen los umbrales de los valores de los índices incluidos dentro de la Clasificación Climática Multicriterio (Índices de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía), y que están vinculados a las características específicas de las zonas de producción de acuerdo con su potencial vitivinícola. Con estos umbrales se han establecido una clasificación según las necesidades de adaptación, basándose en la naturaleza de los cambios mostrados por los escenarios climáticos y que aparece de forma esquemática en la Tabla 13.

De acuerdo con esta interpretación, las regiones con un índice de Huglin que cambie de fresco a templado o a templado cálido se consideran con bajas necesidades de adaptación, ya que las épocas de crecimiento menos frías junto con la previsible disminución de la frecuencia de heladas podría reducir las restricciones a un mayor número de variedades en cuanto a las necesidades de maduración. Por el contrario, para las regiones con estaciones de crecimiento cálidas, a pesar de la dificultad de establecer límites de temperatura superior precisas para las distintas variedades de alta calidad (Van Leeuwen et al., 2013), el paso a clases muy cálidas se consideran cambios con necesidades de adaptación medio o alto por las mayores restricciones en cuanto a variedades y el empeoramiento que puede darse en el equilibrio de los vinos.

En el caso del índice de Frescor Nocturno, se observa una pérdida de calidad con condiciones de temperatura nocturna más cálida para la maduración, en consecuencia, cuanto mayor sea el cambio hacia regiones más cálidas, más sensibles se consideran y por tanto mayores serían las necesidades de adaptación.

Por último, la interpretación de los cambios en el índice de Sequía es compleja ya que el estrés hídrico moderado aumenta la calidad (van Leeuwen et al., 2004). Cambios proyectados de húmedo a sub-húmedo o moderadamente seco se consideran con niveles bajos en cuanto a las necesidades de adaptación. Sin embargo si se desplaza hacia clases más secas, donde se producen efectos del estrés frecuentes, el riego pasa a ser necesario para mantener el rendimiento o la calidad o incluso obligatorio. En estos casos las necesidades de adaptación pasarían a ser medias o altas, dependiendo de la envergadura del cambio.

Con esta metodología los índices se evalúan de forma individual para cada una de las DOP el fin de proporcionar un efecto más completo de los factores de cambio. No obstante, las interacciones entre ellos puede ocasionar que pequeños cambios en cada índice, pueden resultar en grandes necesidades de adaptación si se tienen en cuenta de forma conjunta. Es importante hacer notar por tanto, que incluso cambios pequeños pueden necesitar cambios en las variedades de uva y técnicas de cultivo con un coste sociocultural alto.

Tabla 13. Matriz para evaluar el esfuerzo de adaptación necesarios como resultado de los cambios proyectados por los escenarios de Cambio Climático en los índices de Huglin, Frescor Nocturno y de Sequía (1) (Resco et al., 2015)

Valores medios de los índice en el clima actual (1971-2000)	Esfuerzos de adaptación como resultado de los cambios proyectados por los escenarios de Cambio Climático					
	Valores medios de los índice en los escenarios de Cambio Climático (2021-2050)					
Índice de Huglin	Muy cálido	Cálido	Templado cálido	Templado	Templado	Muy Fresco
Muy cálido	sin cambio					
Cálido	Alto	sin cambio				
Templado cálido	Alto	Medio	sin cambio			
Templado	Alto	Medio	Bajo	sin cambio		
Fresco	Alto	Medio	Bajo	Bajo	sin cambio	
Muy Fresco						sin cambio
Índice de Frescor Nocturno	Noches Cálidas	Noches templadas	Noches frías	Noches muy frías		
Noches Cálidas	sin cambio					
Noches templadas	Alto	sin cambio				
Noches frías	Alto	Medio	sin cambio			
Noches muy frías	Alto	Medio	Bajo	sin cambio		
Índice de Sequía	Muy secas	Secas	Moderadamente secas	Sub-húmedas	Húmedas	
Muy secas	sin cambio					
Secas	Alto	sin cambio				
Moderadamente secas	Alto	Medio	sin cambio			
Sub-húmedas	Alto	Medio	Bajo	sin cambio		
Húmedas	Alto	Medio	Bajo	Bajo	sin cambio	

(1) Los niveles se establecen en bajo (amarillo), medio (naranja) y alta (rojo) en función del cambio en la magnitud de los valores de índice; los cuadros en blanco indican que no hay cambio en los valores de clasificación del índice. De los 19 escenarios climáticos se han seleccionado tres para cada DOP: el de alto impacto (con las proyecciones más cálidas y secas); el de impacto medio (con la mediana de las proyecciones); y el de bajo impacto (con las proyecciones más frescas y húmedas).

Por el contrario, en algunas regiones los resultados pueden ser más pesimistas que los esperados, ya que las necesidades de adaptación se basan únicamente en parámetros climáticos, mientras que regiones donde se cultivan variedades de uva con una mayor plasticidad, podrían no necesitar tanto la adaptación.

### **3.6.2. Factores socioeconómicos en adaptación**

Los factores sociales y económicos van a condicionar la capacidad de hacer frente a estas necesidades de adaptación en cada región. Al estudiar un grupo de regiones tan amplio y diverso, se ha buscado recoger información de carácter socioeconómico capaz de sintetizar información de carácter complejo y multidimensional al objeto de facilitar su comprensión y su comparación de forma efectiva. Para ello se han seleccionado una serie de factores importantes que identifiquen particularmente para cada región, una serie de dificultades a la hora de implantar determinadas estrategias de adaptación. Los factores utilizados describen algunos de los aspectos generales más importantes que definen la capacidad actual de afrontar los desafíos asociados al Cambio Climático en la viticultura y son los siguientes,

Porcentaje de la población ocupada agraria mayor de 16 años entre un rango de edad de 50 y 65 años. Con este dato se recoge el porcentaje de población que puede no sentirse incentivado a tomar medidas a largo plazo porque los plazos de amortización de algunas medidas podrían superar los años que restan a la jubilación.

Porcentaje de la población ocupada agraria mayor de 16 años sin graduado escolar, que recoge la falta de capacidad potencial de acoger innovaciones dentro de la explotación.

Valor de la producción de vino en €/ha, que nos indica la capacidad económica de la viticultura de poder hacer frente a las necesidades de adaptación.

Porcentaje de la producción que se exporta y que determina la existencia de excedentes, de la dependencia que existe de mercados exteriores y de la necesidad de vender en mercados exteriores, mucho más competitivos, lo que puede incrementar las necesidades de adaptación.

Valor del precio de exportación y que determina los incentivos que puede tener el sector para hacer frente a las inversiones necesarias para adaptarse en mercados muy competitivos.

Porcentaje de la superficie que está asegurada, que se considera como un indicador de la percepción del riesgo que existe actualmente y del conocimiento de herramientas económicas de transferencia del riesgo.

Estos parámetros se extraen de diversas fuentes (INE, DataComex y Eurostat) y se estudian por CCAA, ya que es el mayor grado de desagregación con el que se pueden obtener.

Para poder comparar las regiones y los índices se necesita el valor de estos normalizado. El método de mínimo y máximos ejecuta una transformación lineal de los datos originales, con base en los valores mínimos y máximos de un atributo que conserva las relaciones entre los datos originales y se suele utilizar cuando no existen valores anómalos (JRC, 2008). Con los datos disponibles se normalizaron las distancias de 0 a 1 mediante la fórmula:

$$I_P = (I_{obs} - I_{mínimo}) / (I_{máximo} - I_{mínimo})$$

En donde  $I$  es el subíndice de la variable  $P$ ,  $I_{obs}$  es el valor del subíndice para un municipio dado,  $I_{mínimo}$  es el valor mínimo observado del conjunto de valores de  $I_P$  y  $I_{máximo}$  el valor máximo observado del mismo conjunto de valores  $I_P$ . Para obtener un índice complejo se ponderaron de forma similar todos estos índices aunque debido a la gran diversidad, deberían tener distintos pesos en cada región.

No obstante, existen muchos factores que podrían alterar estos valores. Unos pueden estar asociados al efecto del Cambio Climático, como la disponibilidad de agua de riego, y otros a determinadas políticas que pueden incentivar la adopción de medidas de adaptación como la PAC o relacionados con los costes como la energética, que pueden influir en la capacidad de de adopción de determinadas estrategias.

### **3.7. Limitaciones del estudio**

Este estudio intenta acercar el conocimiento sobre los efectos del Cambio Climático y de los esfuerzos necesarios para la adaptación. No obstante, al basarse la

metodología en una simplificación de los sistemas vitícolas, y recoger la incertidumbre asociada a los distintos escenarios climáticos presenta algunas limitaciones derivadas de los propios datos utilizados así como de las herramientas de análisis.

A pesar de la fortaleza del análisis agroclimático, que se deriva del reconocimiento que tienen los índices utilizados y que ya han sido validados y utilizado ampliamente, la interacción del suelo con el clima y la vid no se considera explícitamente, a pesar de que su contribución es clave a la hora de definir la calidad del vino. Tampoco se han incluido cambios de uso de suelo en consonancia con las proyecciones del escenario climático en las simulaciones, ya que el objetivo era simular las opciones de política para el sistema de DOP actuales. Tampoco se han considerado posibles cambios en la tecnología y la biotecnología. Sin embargo, las variedades y clones de vid, así como técnicas de vinos evolucionan continuamente y han avanzado enormemente en relación a la uva y la calidad del vino.

Otra limitación importante se deriva de la caracterización regional, ya que las zonas son muy diversas en unas escalas que no están representados en este estudio. Por lo tanto, el análisis no es necesariamente representativo de todos los viñedos dentro de las zonas de estudio. A pesar de la relativamente alta resolución de los 19 escenarios usados, la importancia de microclima en la viticultura (Van Leeuwen et al., 2004) requiere información en una escala más pequeña.

El estudio no aborda toda la gama de variables que afectan o son afectados por el Cambio Climático de forma completa. Aunque los índices incluidos tienen un interés potencial e influencia en el diseño de una estrategia de adaptación, algunas variables clave necesitan un análisis en mayor profundidad. Los extremos de temperatura y precipitación pueden ser factores adicionales que limitan la producción del cultivo de la vid de alta calidad (White et al., 2006). Aunque se ha tratado de incluir índices de estos eventos extremos para detectar los cambios que pueda dar lugar el Cambio Climático, la especificidad de cada viñedo, por su manejo y las características de las variedades en cada zona dificulta su evaluación. Es esencial por tanto la investigación adicional a escala local con respecto a los extremos diarios de temperatura y precipitación para complementar el análisis presentado.

Por último, la capacidad de adaptación necesita ser abordada desde un enfoque más social y regional, empleando una perspectiva de abajo hacia arriba con un

planteamiento de estudio región a región, centrándose en los actores como unidad de análisis. De cara a estudiar de una forma más completa esta capacidad en un conjunto de regiones tan heterogéneo es necesario conocer los principales condicionantes locales de primera mano, datos complejos y pueden ser difíciles de obtener, pero que mejoran el conocimiento de la vulnerabilidad a nivel local.

Todas estas limitaciones sin duda simplifican en exceso los resultados y hacen que el estudio no capture toda la variabilidad y diversidad en la vulnerabilidad existente en la viticultura ante el Cambio Climático. Por lo tanto, las diferentes opciones de adaptación para grandes áreas no se pueden usar para definir opciones o prioridades a escala más pequeña. A pesar de estas incertidumbres y limitaciones, los resultados obtenidos muestran una imagen cualitativa del futuro. Los hallazgos descritos en este trabajo permiten avanzar en el conocimiento de las diferentes estrategias de Cambio Climático al proporcionar una mayor comprensión a las partes interesadas de las diferentes opciones de adaptación que podrían ser utilizados para incorporar en los planes de adaptación. No obstante se necesitan más investigaciones con el fin de incorporar el condicionantes locales para llegar a un mejor conocimiento.



## **4. Definición de riesgos debido a extremos climáticos**

### **4.1. Objetivos y metodología**

El objetivo fundamental de este capítulo es definir el impacto que puede tener el Cambio Climático sobre el conjunto de riesgos por adversidades climáticas de una explotación. Para ello, se evalúa cómo pueden variar la frecuencia de dos de los fenómenos meteorológicos extremos más sensibles al Cambio Climático y a los que es vulnerable el viñedo: las olas de calor y las heladas.

Para estimar estos riesgos, en primer lugar se realizó una evaluación del conjunto de riesgos actuales en base a los datos actuariales del seguro agrario, para poder identificar la importancia relativa de cada uno de ellos en las diferentes zonas productoras. En segundo lugar, para estimar los efectos del Cambio Climático sobre las olas de calor y las heladas se seleccionaron una serie de índices para cada riesgo y se calcularon las variaciones anuales de cada uno de ellos del periodo 2021-2050 respecto al periodo 1971-2000, con los resultados extraídos de los 19 escenarios del proyecto ESCENA.

### **4.2. Principales riesgos causados por adversidades climáticas en la actualidad**

El seguro de viñedo tiene una larga tradición y una implantación relativamente alta dentro del sector del viñedo. Aunque algunas coberturas no han tenido una contratación histórica alta, el largo registro existente de siniestralidad frente a los riesgos que más preocupan al agricultor, el pedrisco y la helada (IKERFEL, 2009) lo convierten en una buena herramienta para clasificar a las zonas en base a su riesgo y también clasificar los riesgos en base a su importancia.

En la actualidad existen cuatro tipos de coberturas que agrupan una serie de riesgos: pedrisco, helada, riesgos excepcionales (que incluyen lluvias torrenciales, lluvias persistentes, incendio, viento y fauna silvestre) y resto de adversidades (que incluye cualquier otro riesgo climático como ola de calor, sequía y que incluye también plagas y enfermedades). Tradicionalmente, los seguros más contratados cubrían únicamente

los tres primeros grupos de riesgos. La importancia de cada uno de ellos se puede estudiar en base al riesgo de siniestralidad establecido para cada una de las comarcas, calculado según los resultados actuariales por parte de Agroseguro, y que se puede deducir en base a las tasas del seguro agrario publicadas en la Dirección General de Seguros y a la metodología que se describe en el Anejo 2. En el caso de los riesgos de helada y pedrisco, los datos que existen se encuentran por comarcas en base al histórico en cada una de las zonas, no obstante en el caso de las adversidades climáticas los resultados varían en función de un histórico individual.

En los datos de los seguros contratados según el histórico de 1982 o 2008 (Tabla 14) se observa como dentro de los riesgos tradicionalmente más contratados, el pedrisco y la helada tienen unas tasas de riesgo más altas y también una mejores coberturas, ya que en el ratio de indemnizaciones frente a daños (columna 5) son comparativamente mayores. También se puede observar (columna 6) como tradicionalmente, la prima recaudada por el seguro de el pedrisco y los riesgo ha servido para compensar el riesgo de helada que ha estado más desequilibrado, ya que lo recaudado por el riesgo de helada es más de un 20 % superior a lo efectivamente indemnizado.

*Tabla 14. Evaluación de los daños y siniestralidad en función del valor de la producción y de los principales riesgos contratados, donde PRR es la prima de riesgo recargada la TTR la tasa de riesgo recargada en millones de euros (Agroseguro, 2010)*

	(%) TRR	Valor de la producción (M €) (1)	PRR (M €) ( 2)	Indemnización (M €) (3)	Daños (M €) (4)	(%) (5)= (3)/(4)	(%) (6)= (4)/(2)
Pedrisco	3,8 %	8940,3	341,8	220,1	251,9	87 %	64,4 %
Helada	3,2 %	7989,8	256	314,8	439,2	72 %	122,9 %
Riesgos excepcionales	0,6 %	6991	41,3	6,5	12,9	50 %	15,6 %

Sin embargo, el riesgo de helada muestra un descenso reiterado de siniestralidad en los últimos años y que se ha traducido en continuas rebajas en la tarifa. Estos cambios parecen no ser únicamente coyunturales, sino consecuencia de un cambio en la tendencia de las temperaturas mínimas y en el cambio en la forma de cultivo, ya que el cambio de vaso a espaldera como la inversión en regadío está reduciendo los daños

por heladas primaverales. Esta distinción se recoge dentro del seguro que hace una diferenciación en el riesgo de helada para espaldera y vaso.

En cuanto al riesgo ocasionado por el resto de adversidades climáticas, el seguro lo trata de forma individualizada para cada agricultor en base a su histórico. Para que los siniestros ocasionados por cualquiera de estas de adversidades sean considerados como indemnizables para el conjunto de las parcelas (de una misma comarca agraria) que componen la explotación, el valor de la producción real final incrementada con el valor de las pérdidas producidas por el resto de riesgos y deducida su franquicia (producción real esperada por el daño a indemnizar), debe ser inferior al 70 % del valor de la producción base. El agricultor fija en la declaración de seguro el rendimiento unitario en cada parcela asignado individualmente, teniendo en cuenta los rendimientos obtenidos en años anteriores. De acuerdo con las bases técnicas del seguro, a cada asegurado se le asigna un nivel de riesgo entre los tres establecidos en el seguro. El nivel de riesgo de cada uno de los productores, se calcula en el seguro con, en primer lugar los porcentajes de pérdidas en base a la información contenida en la base de datos de 2001 a 2010 (serie reciente), y, en segundo lugar, el riesgo medido en la serie 1989 a 2000. El porcentaje de pérdidas por resto de riesgos correspondiente a la parte de la serie 2001 a 2010, proviene de la relación existente entre las pérdidas indemnizables habidas a lo largo de su serie y los índices de producción obtenida. El riesgo medio calculado por este sistema resulta 0,3 por ciento.

El riesgo medido en la serie 1989 a 2000, muestra una mayor incidencia de los riesgos cubiertos resultando, de media, el 0,9 por ciento. De esta forma, para el total de la serie estudiada se considera un ratio promedio de 0,6 por ciento, ratio que se distribuye por agricultor según los tres niveles de riesgo mencionados, quedando este promedio distribuido de la siguiente forma: 0,50 % para el nivel de riesgo 1, 1 % para el 2 y 1,5 % para el nivel 3 (Tabla 15).

Si bien estos niveles son inferiores a los de helada y pedrisco hay que notar con que las franquicias y mínimos indemnizables son mayores en el caso del resto de adversidades.

Tabla 15. Registro de riesgo de siniestralidad estimados de eventos indemnizables (con descenso de producción respecto a la media de más del 30 %) para resto de adversidades. Estos riesgos están agrupados por grupos de riesgo (Agroseguro, 2015)

Nº de agricultores con histórico de siniestralidad	Riesgo de siniestralidad por siniestro indemnizable	Nivel de Riesgo frente al resto de adversidades climáticas
18.867	0,5 %	1
1.527	1 %	2
1.492	1,5 %	3

En cuanto a un estudio por zonas de los principales riesgos, en el caso del pedrisco (Figura 21) las comarcas dentro de las DOP con mayor riesgo son las que se encuentra en el sureste y en algunas DOP del valle del Ebro.

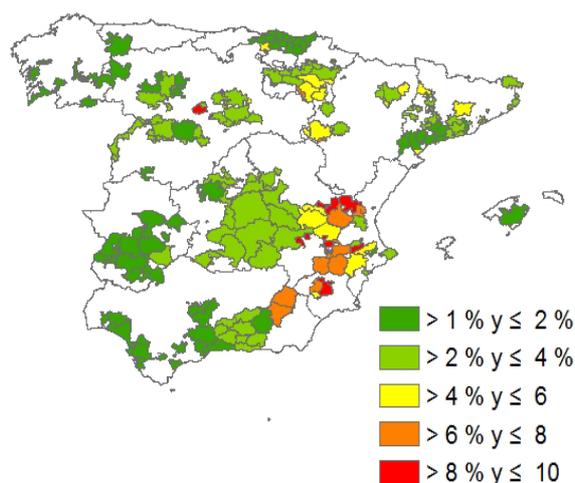


Figura 21. Riesgo de siniestralidad por pedrisco en una parcela dentro de las comarcas pertenecientes a las DOP

En cuanto al riesgo de siniestralidad por helada para las comarcas dentro de las DOP, existen riesgos diferenciados para las plantaciones en vaso (Figura 22) o espaldera (Figura 23). En ambos casos son las zonas de Castilla León, junto con algunas en cotas altas de Andalucía, Cataluña y Galicia.

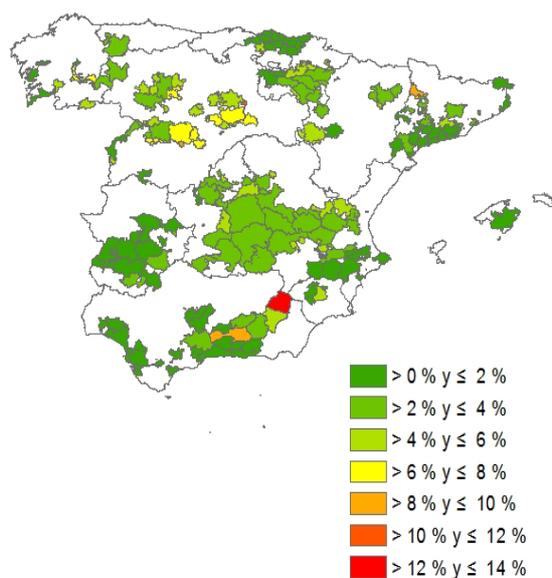


Figura 22. Riesgo de siniestralidad por helada por parcela (en vaso) dentro de las comarcas pertenecientes a las DOP

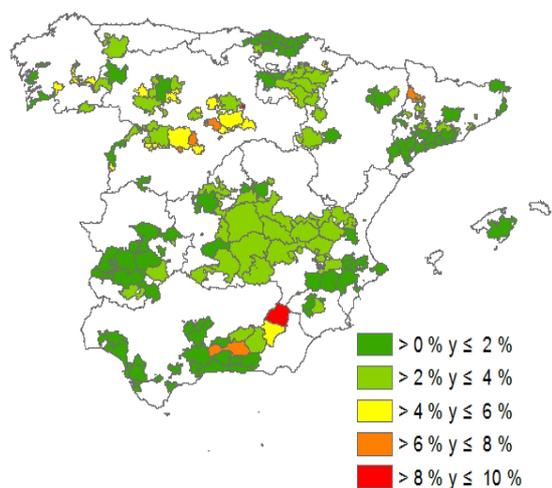


Figura 23. Riesgo de siniestralidad por helada en una parcela (en espaldera) dentro de las comarcas pertenecientes a las DOP

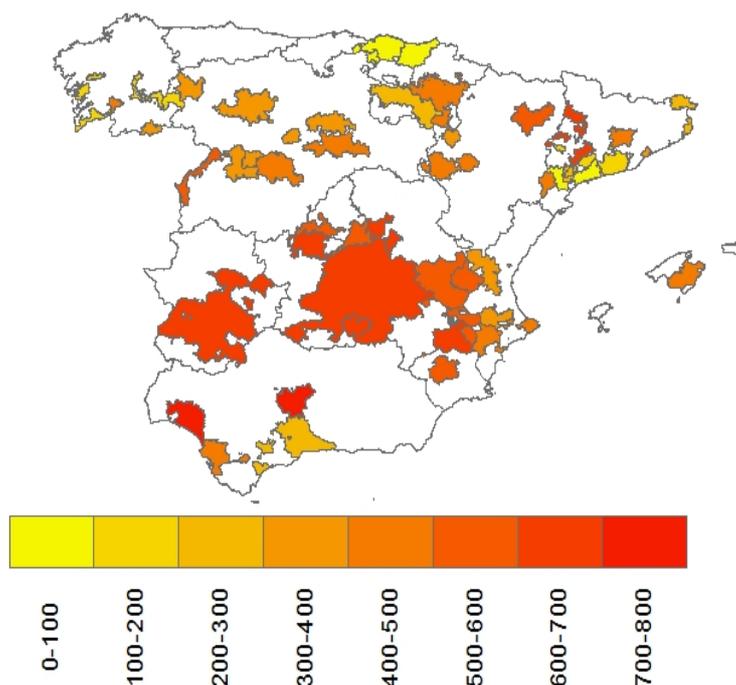
### 4.3. Cambios en la exposición al riesgo de olas de calor

En la metodología se han seleccionado una serie de índices para medir cambios en el riesgo de olas de calor. Por un lado el aumento en la frecuencia de días de calor con temperaturas máximas por encima de 35 °C, a los que iría asociado una posible

pérdida de calidad, y en segundo lugar, los días de temperaturas máximas de más de 40 °C y el número de años con al menos un día de más de 40 °C, ambos asociados al riesgo de graves pérdidas de calidad y a desecaciones de racimos y hojas.

#### **4.3.1. Días con temperatura máxima mayor de 35 °C**

En la Figura 24 se observa la media del incremento del número de días con  $T_{max} > 35$  °C para el conjunto de las 19 proyecciones. En general, el aumento del número de días sería mayor en aquellas zonas más cálidas del centro sur peninsular. El mayor incremento en el número de días se experimentaría en las zonas más calurosas de la Región IV (por ejemplo Huelva, Montilla y Jumilla), donde el incremento podría superar los 25 días por año (más de 800 días para todo el periodo). En segundo lugar, habría que destacar aquellas DOP de las zonas de la mitad sur de la Región II, como por ejemplo La Mancha, Valdepeñas o Ribera del Guadiana, donde el incremento podría ser de más de 20 días por año. En la mitad norte peninsular, el incremento del número de días sería elevado en las zonas más interiores de las Regiones I y III, y en las del norte de la Región II (entre 10 y 16 días por año aproximadamente) y muy bajas en las regiones costeras, sobre todo en la zona atlántica.



*Figura 24. Variación en número de días con  $T_{max} > 35\text{ °C}$  para la media de las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000*

Al analizar la incertidumbre de estos datos (Tabla 16 y Figura 25), se comprueba que existe una mayor dispersión de la media de las 19 proyecciones en las DOP con mayor incremento del riesgo de días cálidos (con  $T_{max} > 35\text{ °C}$ ). La desviación estándar del incremento de días cálidos podría superar los 350 días, es decir más de 11 días al año, en las DOP más cálidas de la Región IV, los 250 días (8 días al año) en las DOP del sur de la Región II y los 100 días (más de 3 días por año) en las DOP del norte de la Región II o las más interiores de las Regiones I, II y III.

Tabla 16. Variación en los valores del número de días con  $T_{max} > 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , número de días con  $T_{max} > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  y número de años con al menos 1 día con  $T_{max} > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  entre los resultados de los modelos para 1971-2000 y los proyectados para 2021-2050 para los escenarios A1B, A2 y B1. Los resultados se expresan en forma de media y desviación estándar en los 19 escenarios

Denominaciones		Días con $T_{max} > 35\text{ }^{\circ}\text{C}$		Días con $T_{max} > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$		años con al menos 1 día con $T_{max} > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$	
		Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Zona I	Bierzo	329,16	147,96	40,85	45,71	8,00	4,01
	Monterrei	329,05	142,87	34,25	25,91	7,30	3,06
	Rías Baixas	185,53	84,68	19,35	16,18	6,05	3,61
	Ribeiro	431,00	130,39	103,95	51,84	13,65	4,31
	Ribeira Sacra	222,58	130,75	25,90	22,78	6,15	3,56
	Tierra de León	328,42	127,32	52,65	36,40	7,10	3,23
	Chacolí de Álava	129,79	133,35	11,40	6,91	5,50	2,54
	Chacolí de Bizkaia	79,21	49,63	7,95	6,02	4,60	2,66
	Chacolí de Getaria	47,05	21,83	2,95	2,06	2,15	1,23
	Valdeorras	205,68	100,04	16,55	14,81	4,45	2,31
Zona II	Almansa	582,16	232,73	184,70	98,78	11,40	3,59
	Arlanza	323,26	128,24	48,75	36,42	9,55	3,61
	Arribes	510,00	183,89	142,00	76,13	12,75	4,12
	Cigales	351,74	133,19	50,00	37,14	9,45	3,66
	La Mancha	672,37	275,71	336,40	139,45	10,10	2,86
	Madrid	532,26	187,05	98,15	59,78	14,50	4,74
	Manchuela	560,84	198,44	166,55	74,19	15,25	4,04
	Méntrida	659,16	219,17	223,50	98,10	17,40	4,72
	Mondejar	656,95	299,24	352,65	157,19	8,60	2,30
	Ribera del Duero	463,05	170,31	86,10	59,05	11,65	4,22
	Ribera del Guadiana	723,79	252,34	316,50	133,37	12,85	3,63
	Rueda	462,58	153,46	86,95	49,08	13,35	4,23
	Toro	364,53	120,54	45,10	30,53	9,20	3,53
	Uclés	666,58	241,77	274,40	130,14	12,05	3,69
	Valdepeñas	668,11	356,74	426,15	168,57	2,80	1,88
	Zamora	400,84	125,64	63,25	34,97	9,85	3,05
Zona III	Alella	321,00	226,22	42,60	56,30	6,75	4,85
	Ampurdán	271,47	182,23	18,70	25,73	3,70	3,76
	Calatayud	444,74	169,78	79,25	50,95	12,80	4,62
	Campo de Borja	334,32	138,55	49,00	28,19	10,60	3,57
	Cariñena	455,47	169,56	112,20	67,57	13,25	4,41
	Cava	116,53	118,00	7,15	15,45	1,40	2,21
	Conca del Barberá	103,47	80,67	5,10	7,91	2,00	1,92
	Costers del Segre	626,53	246,97	204,15	111,67	9,90	3,46
	Montsant	275,16	160,51	16,30	17,82	4,00	3,03
	Navarra	439,37	183,37	131,15	69,04	15,90	4,97
	Penedés	138,21	164,63	7,15	15,45	1,40	2,21
	Pla de Bages	478,47	238,67	90,00	92,13	7,35	4,59
	Priorat	258,89	152,53	16,30	17,82	4,00	3,03
	Rioja	288,16	144,46	48,70	36,91	9,70	4,64
	Somontano	517,37	210,51	142,45	87,61	11,65	3,95
Tarragona	110,42	126,04	3,50	6,10	1,50	1,88	
Terra Alta	480,47	226,40	45,45	56,28	8,00	4,93	

Denominaciones		Días con Tmax > 35 °C		Días con Tmax > 40 °C		años con al menos 1 día con Tmax > 40 °C	
		Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
Zona IV	Alicante	422,37	175,69	52,90	35,15	10,58	3,22
	Bullas	577,05	215,82	86,95	65,02	8,20	3,32
	C. de Huelva	786,68	291,31	285,45	118,74	5,65	1,93
	Jerez	495,58	173,56	108,05	61,07	11,80	3,35
	Jumilla	674,84	384,88	280,75	134,99	2,80	1,40
	Málaga	308,42	171,87	34,10	22,79	8,00	3,09
	Manzanilla	509,53	162,11	114,05	56,62	14,00	4,10
	Montilla	856,89	381,31	428,25	178,48	7,10	2,20
	Pla i Llevant	440,42	212,63	55,25	54,82	8,70	4,45
	Ribera del Júcar	651,58	282,51	374,45	155,35	11,00	2,99
	Utiel-Requena	557,63	231,26	161,10	89,05	9,80	3,43
	Valencia	407,84	195,64	45,55	44,72	7,30	4,01
Yecla	582,16	232,73	192,20	86,04	6,25	2,63	

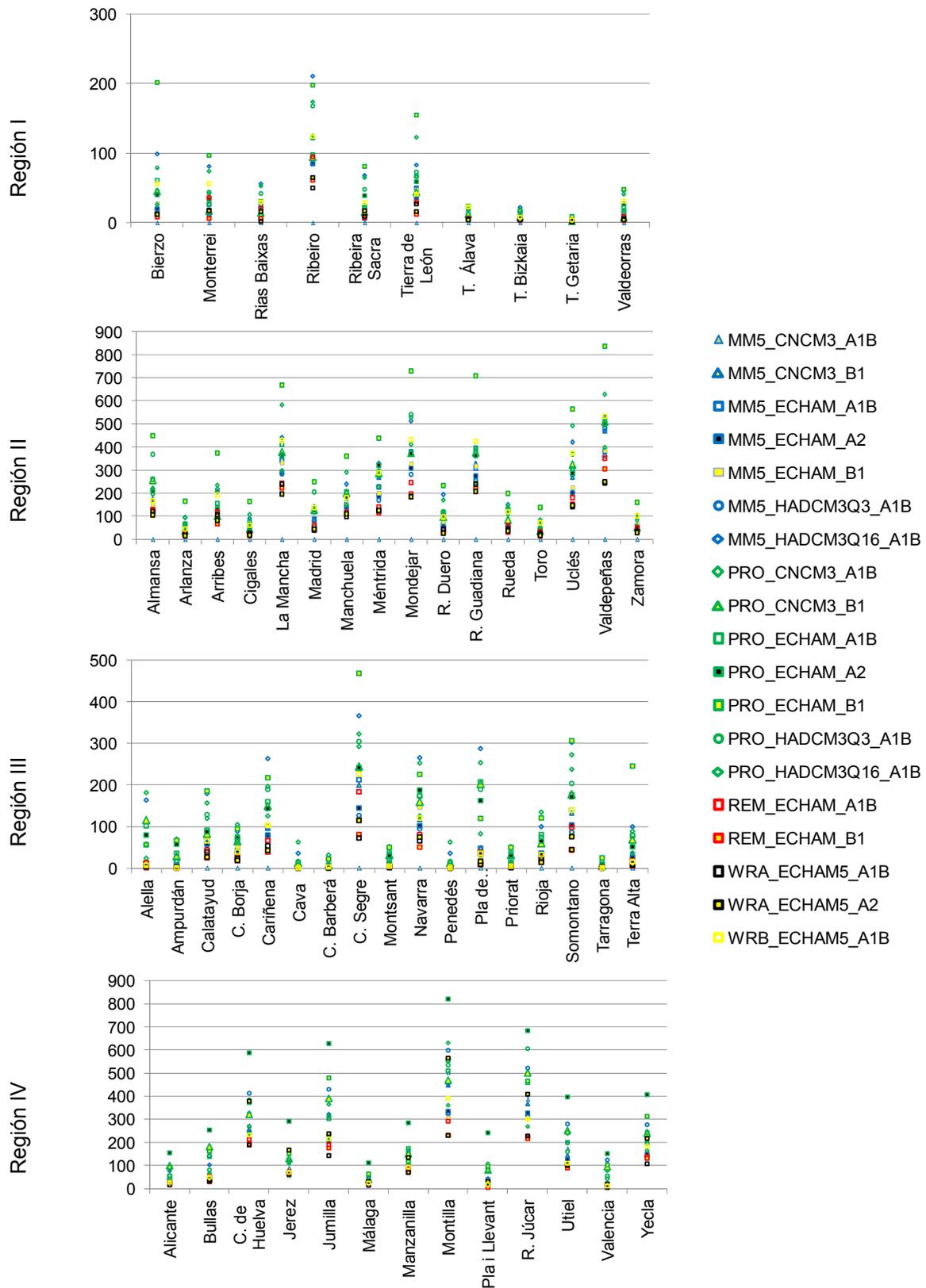
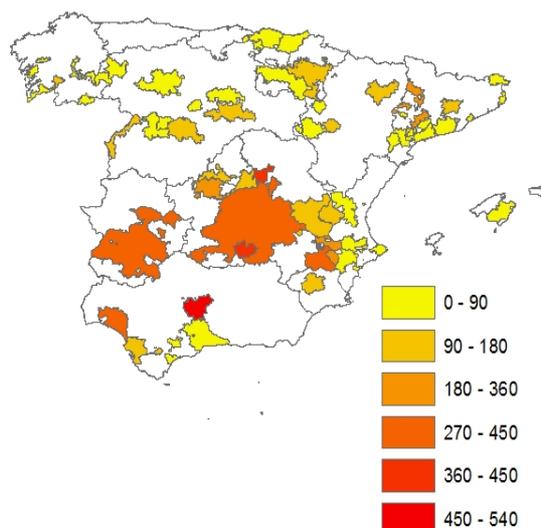


Figura 25. Media del incremento del número de días con  $T_{max} > 35^{\circ}C$  para las 19 proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000

#### **4.3.2. Días con temperatura máxima mayor de 40 °C**

A la hora de medir este indicador se tiene en cuenta tanto el número de años con algún día con  $T_{max} > 40$  °C, como el número de días con  $T_{max} > 40$  °C. Este indicador que en la terminología usada se denomina días muy cálidos y, que nos indicaría el incremento del riesgo de sufrir desecaciones en hojas y racimos, además de pérdidas importantes en la calidad. En la Figura 26 se puede observar la variación de la media de las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000.

En el caso del número de días muy cálidos, las diferencias por Regiones o por DOP son parecidas al punto anterior, es decir un mayor incremento en las zonas más cálidas y más interiores que puede llegar a superar los 400 días para el periodo de 30 años en algunas DOP de las Regiones III y IV como Montilla y Valdepeñas, o los 300 (La Mancha, Mondéjar, Ribera del Guadiana y Ribera del Júcar). A medida que se asciende en latitud, la magnitud del incremento de días muy cálidos disminuye. En la zona norte de la Región II el incremento medio se situaría en los 75 días y en la Región III en los 60 días, aunque en ambas existen DOP que superan ampliamente los 100 días (Cariñena, Navarra y Arribes) e incluso los 200 (Costers del Segre). En la Región I el incremento es mucho más reducido, así para el conjunto de las DOP, se incrementaría en algo más de 30 días para todo el periodo, aunque en el caso de Ribeiro, este podría superar los 100 días.



*Figura 26. Variación en número de días con  $T_{max} > 40$  °C para la media de las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000*

La incertidumbre se puede valorar en la Figura 27 y en la Tabla 16. En ellas se observa una mayor dispersión respecto de la media de las 19 proyecciones en las DOP con mayor incremento del riesgo de días cálidos. La desviación estándar del incremento de días cálidos podría superar los 350 días, es decir más de 11 días al año, en las DOP más cálidas de la Región IV, los 250 días (8 días al año) en las DOP del sur de la Región II y los 100 días (más de 3 días por año) en las DOP del norte de la Región II o las más interiores de las Regiones I y III.

La variación media del número de años con días muy cálidos (con  $T_{max} > 40$  °C) puede observarse gráficamente en la Figura 28. En ella se observa como a diferencia de los casos anteriores, el incremento en el número de años se da más en zonas con latitudes más altas donde el algunas DOP se incrementarían en más de 15 años en las Regiones II (Madrid, Manchuela y Métrida) y III (Navarra). En el caso de las DOP más cálidas de la Región IV o de la Región III, el incremento no es tan significativo debido a que en muchos años ya superan esa temperatura. En estas DOP como Almansa, Valdepeñas, o La Mancha, se experimentaría un incremento de algo más de 10 años, al igual que otras más septentrionales como Calatayud, Cariñena y Campo de Borja en la Región III, Ribera del Duero, Arlanza o Arribes en la zona norte de la Región II, o Ribeiro en la Región I.

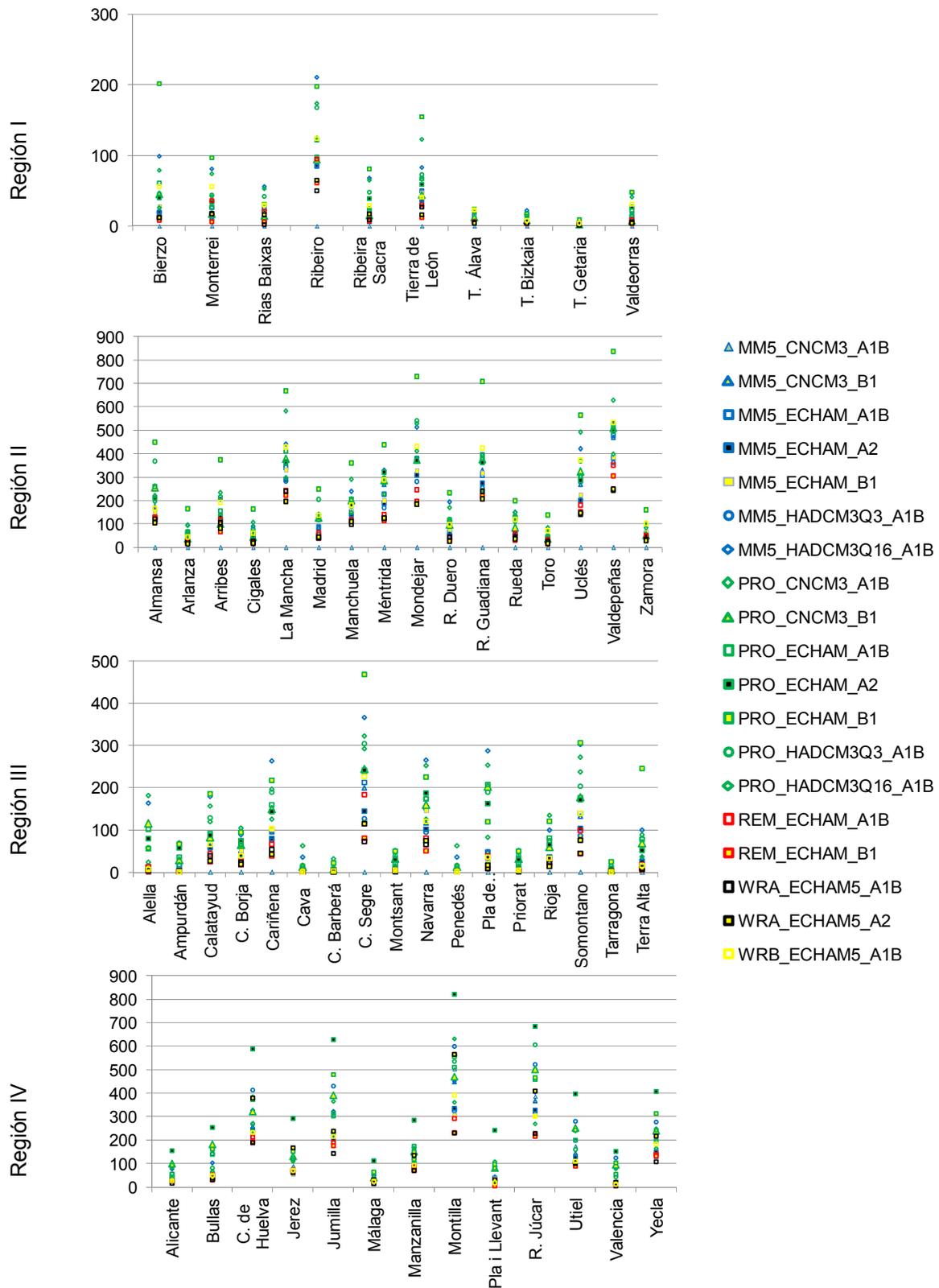


Figura 27. Media del incremento del número de días con  $T_{max} > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  para las 19 proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000

La incertidumbre asociada a las proyecciones puede observarse también de forma gráfica en la Figura 29, o también a través de la desviación típica en la Tabla 16. No existen grandes diferencias en la incertidumbre entre las distintas DOP.

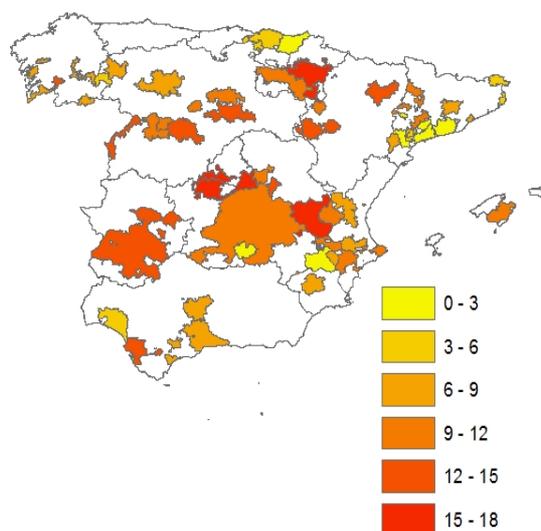


Figura 28. Variación en número de años con  $T_{max} > 40\text{ }^{\circ}\text{C}$  para la media de las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000

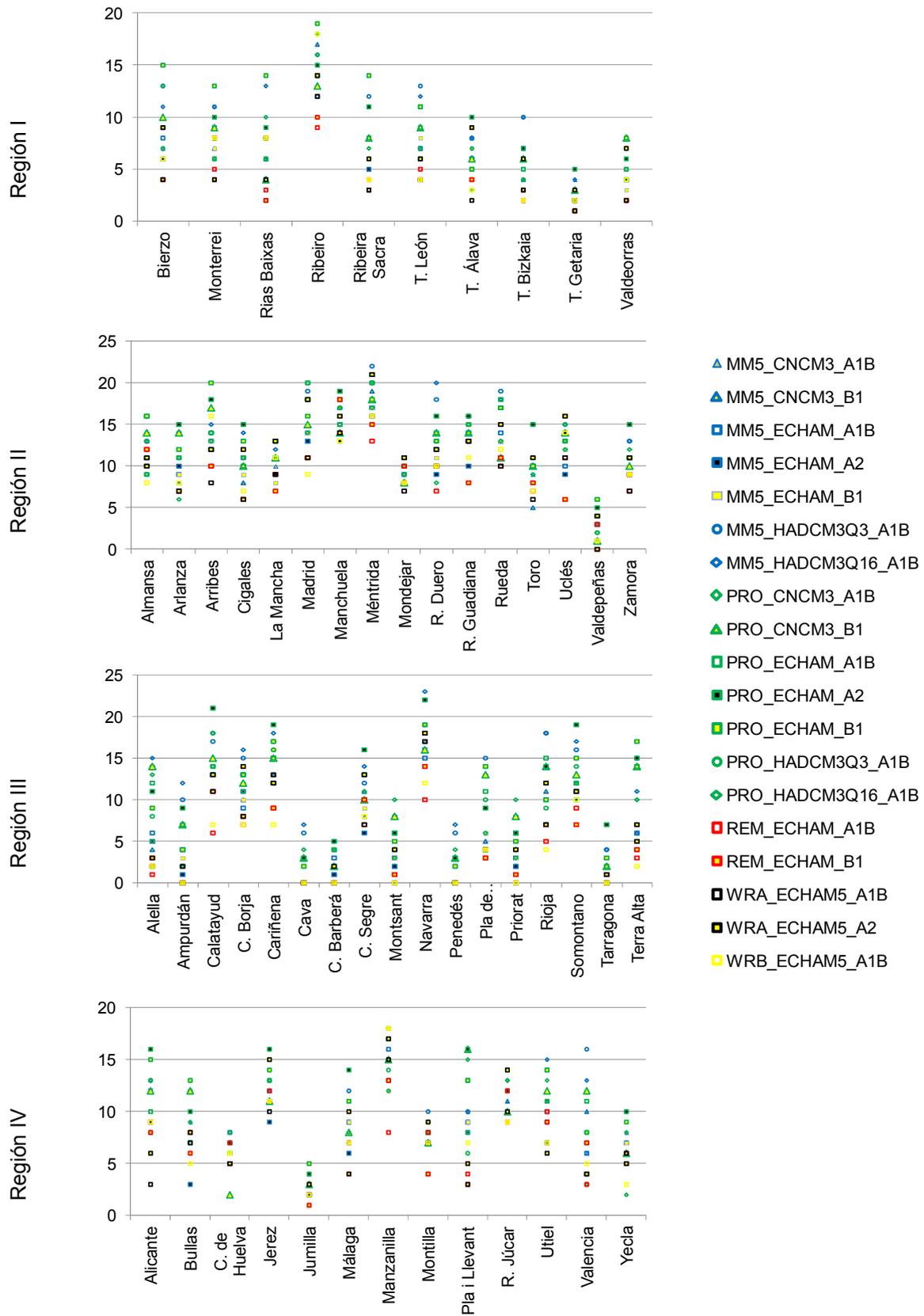


Figura 29. Media del incremento del número años con días con  $T_{max} > 40\text{ °C}$  para las 19 proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al de control 1971-2000

#### 4.4. Riesgo de heladas

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. Para analizar como evolucionaría este riesgo para la viticultura, se han optado por estudiar diversos índices tal como se indicaba en la metodología. El primero de ellos sería el número de heladas que tendría lugar en cada una de las zonas, que puede indicar tanto el riesgo de heladas como la calidad del reposo invernal. En la Tabla 17 están representadas las variaciones en el número de días con  $T$  mínima  $< 0$  °C para el conjunto de proyecciones en el periodo 1971-2000 y en el 2021-2050, y de DOP. En ella se puede comprobar que sería la Región II, la más fría, la que más experimentaría un descenso de las heladas, con cerca de 224 días menos con temperaturas por debajo de los 0 °C, o lo que es lo mismo unos 7 días menos al año de media. Los mayores descensos se darían en Arlanza, Cigales y Ribera del Duero, con menos de 10 días de helada de media por año respecto al periodo 1971-2000. En la Regiones I y III se experimentaría una disminución de heladas semejante de alrededor de 140 y 160 días de media respectivamente para el conjunto de las dos Regiones y todo el periodo, aunque se esperaría un mayor descenso en denominaciones como Somontano, Priorat y Pla de Bages por un lado, o Monterrei, Ribera Sacra y Valdeorras por el otro.

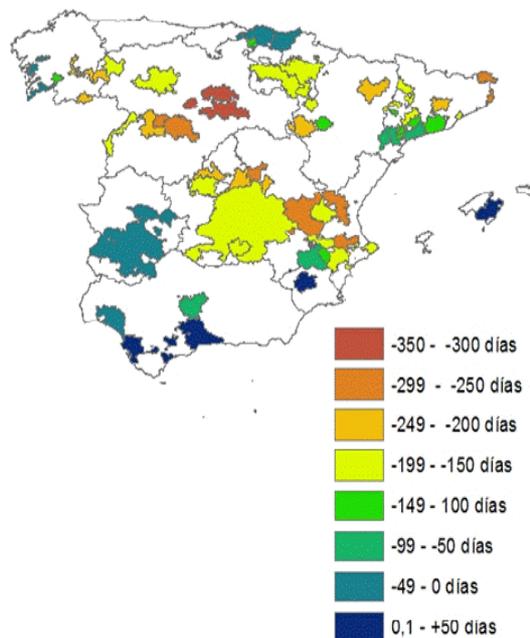
Tabla 17. Variación en los valores de fecha de última helada, número de días con  $T_{min} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  y entre los resultados de los modelos para 1971-2000 y los proyectados para 2021-2050 para los escenarios A1B, A2 y B1. Los resultados se expresan en forma de media y desviación estándar para los 19 escenarios

Denominaciones	Fecha de última helada		Número de días con helada		
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar	
Zona I	Bierzo	-8,59	8,30	-179,05	119,07
	Monterrei	-16,49	7,20	-232,58	145,17
	Rias Baixas	-0,06	6,26	-1,26	27,18
	Ribeiro	-8,78	10,05	-140,26	103,63
	Ribeira Sacra	-5,27	8,45	-222,95	151,99
	Tierra de León	-12,08	8,02	-197,00	109,28
	Chacolí de Álava	-9,13	7,78	-142,84	88,98
	Chacolí de Bizkaia	-5,38	7,86	-14,11	20,11
	Chacolí de Getaria	-6,54	7,54	-22,74	33,96
	Valdeorras	-8,17	8,52	-240,32	149,19
Zona II	Almansa	-12,13	5,91	-195,26	96,23
	Arlanza	-5,32	5,09	-330,95	149,22
	Arribes	-7,00	6,35	-174,95	100,30
	Cigales	-3,46	5,36	-327,16	150,58
	La Mancha	-7,84	7,23	-178,05	87,48
	Madrid	-8,43	7,89	-244,63	126,70
	Manchuela	-10,93	7,04	-266,95	118,90
	Méntrida	-11,16	8,17	-153,05	95,69
	Mondejar	-6,05	5,84	-263,68	109,74
	Ribera del Duero	-8,73	5,58	-301,32	142,52
	Ribera del Guadiana	-8,11	7,12	-21,05	37,66
	Rueda	-12,13	6,31	-263,42	121,48
	Toro	-6,16	6,05	-257,47	118,68
	Uclés	-9,02	6,66	-235,32	106,60
	Valdepeñas	-9,92	8,55	-169,11	98,09
Zamora	-11,67	8,30	-202,95	110,09	
Zona III	Alella	-14,73	7,04	-194,42	76,65
	Ampurdán	-10,89	7,68	-256,68	112,28
	Calatayud	-11,54	6,67	-227,63	106,90
	Campo de Borja	-8,94	6,79	-160,05	84,83
	Cariñena	-11,07	6,12	-147,16	81,38
	Cava	-7,67	6,22	-113,58	64,31
	Conca del Barberá	-9,96	5,35	-136,58	63,75
	Costers del Segre	-8,59	4,31	-195,89	85,15
	Montsant	-8,06	6,70	-79,05	44,61
	Navarra	-10,95	6,03	-113,16	52,31
	Penedés	-6,16	6,05	-192,42	89,33
	Pla de Bages	-10,82	6,66	-160,05	84,83
	Priorat	-7,96	5,63	-232,37	97,54
	Rioja	-14,10	7,50	-179,47	87,35
	Somontano	-11,75	5,21	-231,42	110,92
	Tarragona	-7,96	5,63	-79,05	44,61
	Terra Alta	-11,94	6,81	-68,32	49,08

Denominaciones		Fecha de última helada		Número de días con helada	
		Desviación estándar	Media	Desviación estándar	Media
Zona IV	Alicante	-9,24	6,64	-150,26	82,14
	Bullas	-3,10	4,99	4,79	14,79
	C. de Huelva	-2,65	3,40	-7,11	21,65
	Jerez	-0,53	2,70	5,58	10,92
	Jumilla	-10,29	6,66	-87,32	47,93
	Málaga	4,49	3,87	5,84	12,92
	Manzanilla	-2,28	2,97	-7,63	15,49
	Montilla	-5,78	5,53	-75,68	40,72
	Pla i Llevant	-0,66	2,61	0,05	9,11
	Ribera del Júcar	-7,48	6,77	-256,16	115,25
	Utiel-Requena	-12,15	7,51	-180,32	87,53
	Valencia	-9,66	7,01	-275,68	114,92
	Yecla	-7,04	7,01	-149,00	84,91

En la Figura 30 se encuentra una descripción geográfica de la variación de las medias de todas las proyecciones, es decir sin contar con incertidumbres del número de días con heladas, donde se aprecia más claramente como son en general las zonas más frías las que demuestran un mayor descenso del número de heladas, 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.

La incertidumbre se puede estudiar en la Tabla 17 mediante las desviaciones o de forma más gráfica en la Figura 31. Se observa una mayor dispersión de la media de las 19 proyecciones en las DOP con mayor descenso del número de heladas, en las más frías. La desviación estándar del descenso de días fríos en las Regiones I y II supera los 100 días, una desviación muy alta sobre todo en las DOP de Monterrei, Ribeira Sacra, Valdeorras, Arlanza y Cigales. Esta incertidumbre disminuye a medida que se sitúan en zonas más meridionales o con mayor influencia marítima.



*Figura 30. Variación del número de días con heladas para las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000*

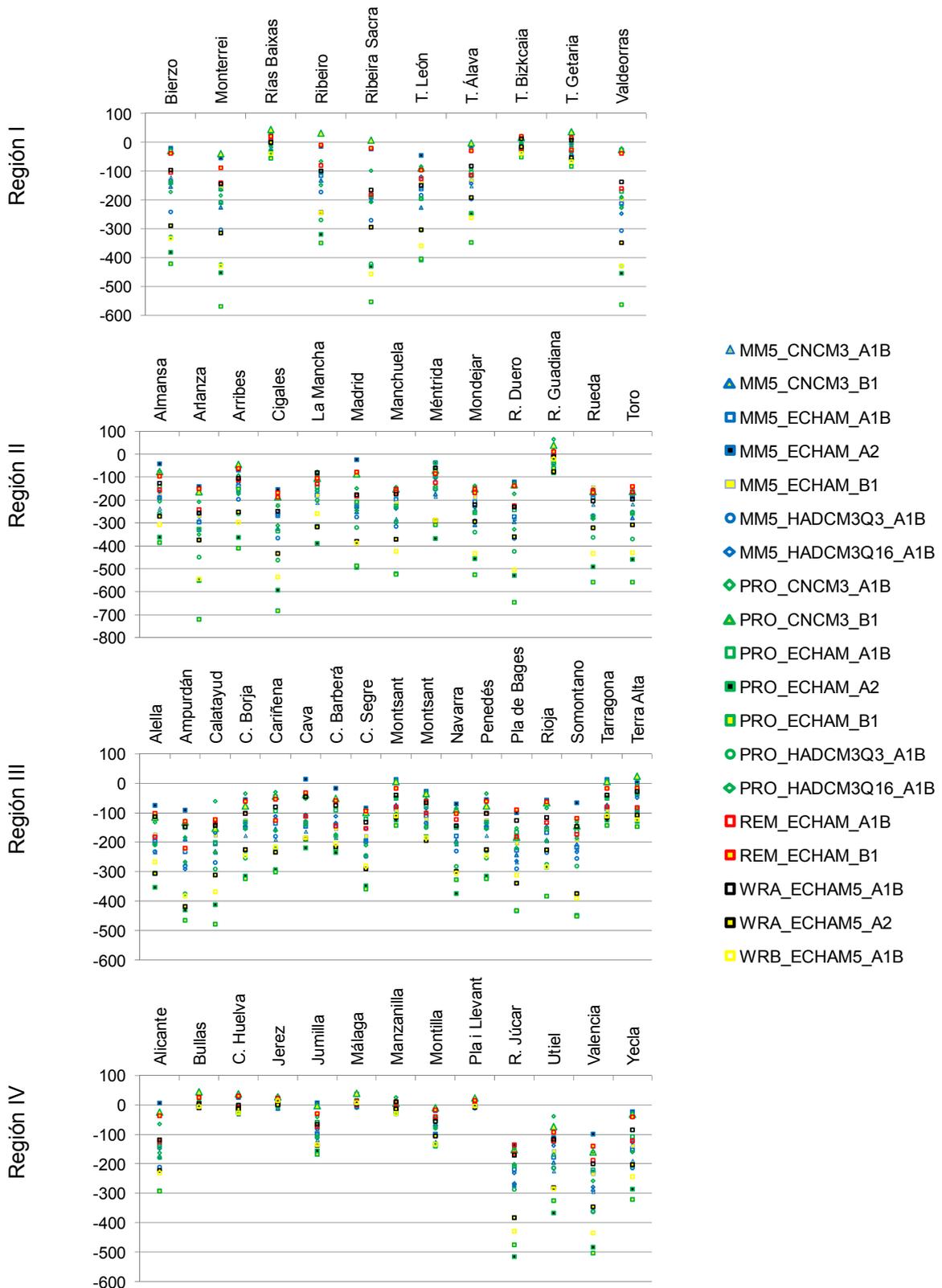


Figura 31. Media de la variación del número días con  $T_{min} < 0^{\circ}C$  para las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000

El cambio del régimen de heladas primaverales también está relacionado con la fecha de última helada, otro de los índices estudiados. En la Figura 32 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. Además en la Tabla 17 se encuentran los valores medios para el conjunto de las 19 proyecciones así como la desviación típica. El adelanto de la fecha de última helada sería mayor para la Región III, si se tiene en cuenta la media de todas las DOP, aunque el adelanto sería mayor en las zonas más continentales. El adelanto medio en esa Región sería de 9 días; destacan dentro de ella sobre todo Rioja y Alcella, con adelantos medios de 14 días para todo el periodo. En la Región I sería de 8 días, aunque destaca sobre todo Monterrei, con un adelanto de 16 días. Por último en la Región IV la fecha de última helada se adelantaría de media para todo el periodo y todas las proyecciones unos 5 días.

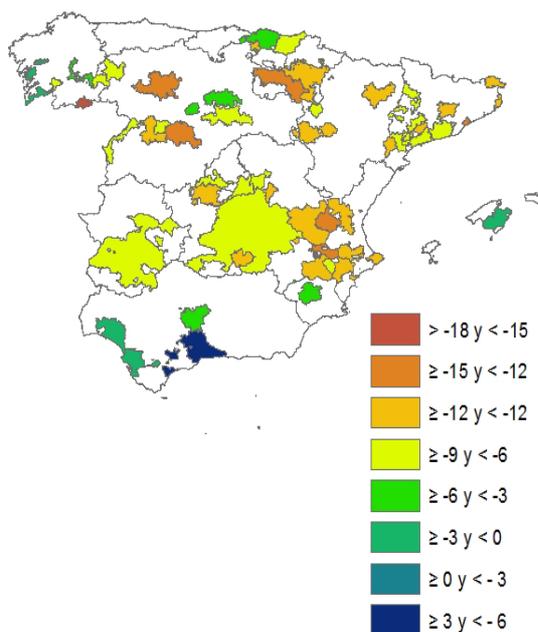


Figura 32. Variación en días de la fecha de última helada para las distintas proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000

La incertidumbre sobre los cambios en la fecha de última helada, medida a través de la desviación estándar (Tabla 17) o de forma más gráfica a través de la dispersión de las proyecciones (Figura 33), es elevada en relación a la media en todas las zonas. La mayor incertidumbre se encuentra en la Región I, donde en la DOP de Ribeiro podría superar los 10 días. La incertidumbre en las Regiones II y III superaría los 6 días. Dentro de estas zonas, en las DOP de Valdepeñas y Zamora la desviación superaría los 8 días. En la Región IV la desviación de las proyecciones respecto a la media apenas superaría los 5 días.

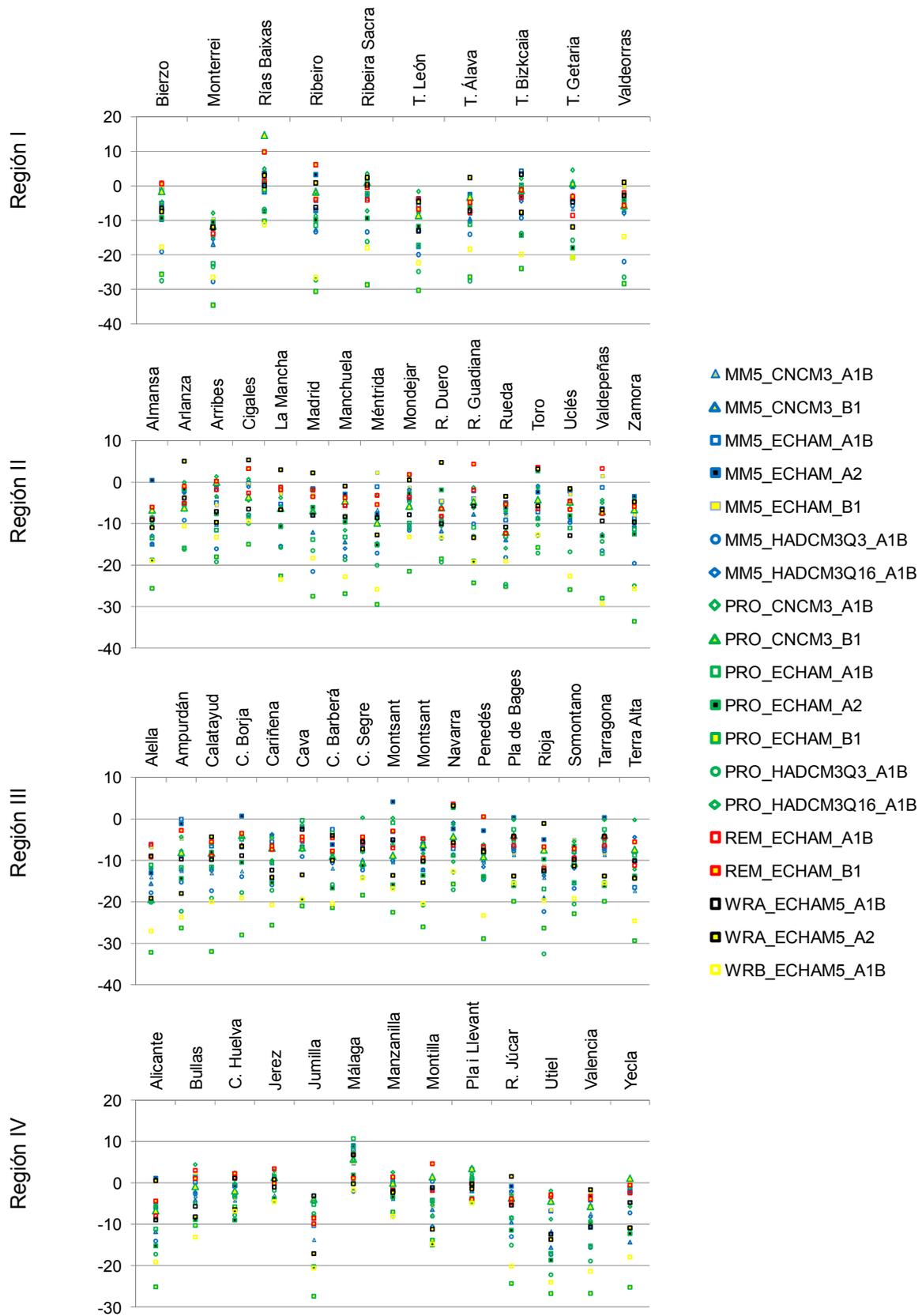


Figura 33. Media de la variación en días de la fecha de última helada para las 19 proyecciones en el periodo 2021-2050 respecto al periodo de control 1971-2000

## 4.5. Conclusiones

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 (Nikulín et al., 2011; Frías et al., 2012). Esto en principio ocasionaría beneficios en cuanto a uno de los riesgos principales, la helada, aunque también 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.

El riesgo de helada actualmente se encuentra ya en un proceso de retroceso en las actuales zonas de cultivo que podría incrementarse en los próximos años. Aunque la incertidumbre respecto al número de heladas y a la fecha de última helada es elevada, la reducción media es mayor donde en aquellas DOP que actualmente tienen un mayor riesgo, como son las más interiores de la Región II, especialmente de la mitad norte (como por ejemplo Ribera del Duero, Arlanza o Rueda). Por el contrario, el descenso de la calidad del reposo invernal podría afectar a las zonas más costeras más cálidas del arco mediterráneo.

En cuanto a las olas de calor se espera un incremento del número de días cálidos (con  $T_{max} > 35\text{ °C}$ ) y de días muy cálidos ( $T_{max} > 40\text{ °C}$ ). 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.



## 5. Estimaciones probabilísticas de la producción y calidad

### 5.1. Objetivos y Métodos

El objetivo principal de este capítulo es determinar cómo puede afectar el Cambio Climático a los principales índices agroclimáticos que sirven para la zonificación de la viticultura (índices de Huglin, de Frescor Nocturno y Sequía), analizando la tendencia, la variabilidad interanual y la magnitud de las variaciones de cada uno de los índices con respecto a los resultados iniciales, además de la incertidumbre asociada a su intensidad.

En primer lugar se ha analizado el comportamiento de los índices con los resultados de cada uno de los 19 modelos del proyecto ESCENA con el estudio de la tendencia y variabilidad interanual de los cambios esperables. Para ello se ha realizado un análisis de tendencia decenal para la media de los resultados de los 19 modelos. Para la variabilidad interanual se han comparado las distintas desviaciones estándar del periodo de estudio con el de referencia.

En segundo lugar, para analizar la magnitud de estos cambios se ha aplicado el método delta obteniendo resultados para los índices agroclimáticos para dos periodos significativos de 30 años: un periodo de referencia con datos reales (1971-2000) y otro con Cambio Climático (2021-2050).

### 5.2. Tendencia de los índices

Los resultados del estudio de tendencia de la variación de los índices, muestran que estas son estadísticamente significativas durante el periodo 2001-2050, al igual que sucedía con estudios previos (Jones et al., 2005), crecientes para los índices de Huglin y de Frescor Nocturno, y decrecientes para el índice de Sequía. Aunque los resultados de tendencia decenal se pueden observar en la Tabla 18 para el índice de Huglin, en la Tabla 19 para el índice de Frescor Nocturno, y en la Tabla 20 para el índice de Sequía. También se han representado gráficamente los resultados de algunas de las DOP más importantes en base a su relevancia en ventas en cada una de las Regiones agroclimáticas para facilitar el estudio (Rías Baixas, Jumilla, Ribera del Duero, Castilla-La Mancha, Rioja y Penedés).

Tabla 18. Resultados del análisis de tendencia del índice de Huglin para el periodo 2001-2050 según los modelos climáticos utilizados, donde \* indica niveles de significancia de 0,01

	Denominaciones	Inicial 1971-2000	Tendencia de crecimiento por década 2001-2050	Crecimiento para todo el periodo 2001-2050	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	
ZONA I	Bierzo	1781,117	60,802	304,012	0,915	0,913	*
	Monterrei	1695,692	55,843	279,216	0,892	0,889	*
	Rias Baixas	1945,798	37,860	189,300	0,829	0,834	*
	Ribeiro	1961,011	49,506	247,531	0,874	0,871	*
	Riberia Sacra	1512,359	49,003	245,016	0,882	0,879	*
	Tierra de León	1829,007	61,451	307,256	0,887	0,884	*
	Txacoli de Álava	1580,114	36,679	183,397	0,829	0,825	*
	Txacoli de Bizcaia	1750,382	33,285	166,426	0,817	0,813	*
	Txacoli de Guetaria	1518,100	31,316	156,580	0,799	0,794	*
	Valdeorras	1534,659	55,427	277,133	0,890	0,887	*
ZONA II	Arlanza	1626,693	63,935	319,675	0,892	0,889	*
	Arribes	2137,308	60,606	303,030	0,891	0,889	*
	Cigales	1772,116	61,565	307,826	0,893	0,890	*
	La Mancha	2656,309	67,394	336,971	0,897	0,894	*
	Madrid	2102,072	67,514	337,571	0,920	0,918	*
	Manchuela	2356,559	65,402	327,012	0,926	0,925	*
	Méntrida	2445,147	69,090	345,451	0,914	0,912	*
	Mondejar	2511,594	68,956	344,780	0,906	0,904	*
	Ribera del Duero	1833,532	68,512	342,559	0,901	0,898	*
	Ribera del Guadiana	2671,480	61,204	306,020	0,885	0,882	*
	Rueda	2002,336	63,669	318,345	0,890	0,887	*
	Toro	1894,150	59,460	297,299	0,892	0,889	*
	Uclés	2494,535	69,844	349,222	0,917	0,915	*
	Valdepeñas	2695,988	69,319	346,597	0,922	0,920	*
Zamora	1985,835	60,289	301,445	0,897	0,895	*	
ZONA III	Alella	2219,227	55,918	279,589	0,869	0,866	*
	Ampurdán	2131,573	58,092	290,460	0,880	0,877	*
	Calatayud	2039,567	61,606	308,032	0,857	0,854	*
	Campo de Borja	1982,909	55,056	275,278	0,859	0,855	*
	Cariñena	2253,813	60,136	300,681	0,878	0,874	*
	Cava	1947,298	57,829	289,146	0,903	0,901	*
	Conca del Barberá	1911,869	58,813	294,065	0,913	0,911	*
	Costers del Segre	2744,691	58,656	293,278	0,880	0,876	*
	Montsant	2229,342	56,365	281,824	0,904	0,901	*
	Navarra	2228,498	55,544	277,719	0,885	0,882	*
	Penedés	2050,609	56,066	280,331	0,907	0,904	*
	Pla de Bages	2299,380	63,371	316,856	0,896	0,894	*
	Priorat	2097,846	55,265	276,324	0,909	0,906	*
	Rioja	1756,156	50,365	251,827	0,875	0,872	*
	Somontano	2423,979	62,612	313,058	0,887	0,884	*
Tarragona	2129,254	54,479	272,395	0,915	0,913	*	
Terra Alta	2528,085	54,155	270,777	0,888	0,885	*	

	Denominaciones	Inicial 1971-2000	Tendencia de crecimiento por década 2001-2050	Crecimiento para todo el periodo 2001-2050	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	
ZONA IV	Alicante	2322,647	54,661	273,303	0,934	0,932	*
	Almansa	2452,257	60,761	303,803	0,943	0,942	*
	Bullas	2619,292	54,584	272,918	0,952	0,951	*
	Condado de Huelva	2853,772	59,329	296,645	0,926	0,924	*
	Jerez	2664,159	54,800	274,002	0,939	0,937	*
	Jumilla	2943,483	56,674	283,368	0,938	0,937	*
	Málaga	2498,479	48,677	243,383	0,932	0,931	*
	Manzanilla	2706,513	50,926	254,632	0,917	0,915	*
	Montilla	2941,722	64,802	324,012	0,927	0,925	*
	Pla i Llevant	2627,838	50,588	252,938	0,899	0,897	*
	Ribera del Júcar	2549,208	68,208	341,038	0,906	0,904	*
	Utiel-Requena	2450,659	60,076	300,382	0,939	0,938	*
Valencia	2009,513	63,106	315,531	0,912	0,910	*	

Tabla 19. Resultados del análisis de tendencia del índice de Frescor Nocturno para el periodo 2001-2050 según los modelos climáticos utilizados, donde \* indica niveles de significancia de 0,01

	Denominaciones	Inicial 1971-2000	Tendencia de crecimiento por década 2001-2050	Crecimiento para todo el periodo 2001-2050	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	
ZONA I	Bierzo	10,306	0,287	0,862	0,861	0,857	*
	Monterrei	8,432	0,270	0,809	0,866	0,863	*
	Rias Baixas	13,490	0,157	0,471	0,694	0,686	*
	Ribeiro	10,447	0,221	0,663	0,843	0,839	*
	Riberia Sacra	8,775	0,212	0,637	0,762	0,756	*
	Tierra de León	11,139	0,283	0,849	0,819	0,814	*
	Txacoli de Álava	10,484	0,200	0,600	0,697	0,689	*
	Txacoli de Bizcaia	14,064	0,172	0,515	0,684	0,676	*
	Txacoli de Guetaria	13,320	0,188	0,564	0,686	0,678	*
	Valdeorras	9,050	0,292	0,877	0,902	0,900	*
ZONA II	Arlanza	8,076	0,282	0,846	0,807	0,802	*
	Arribes	10,635	0,275	0,826	0,869	0,866	*
	Cigales	9,688	0,260	0,781	0,795	0,790	*
	La Mancha	14,763	0,300	0,900	0,852	0,848	*
	Madrid	12,806	0,292	0,876	0,873	0,870	*
	Manchuela	12,142	0,244	0,731	0,847	0,843	*
	Méntrida	13,866	0,296	0,889	0,876	0,873	*
	Mondejar	10,858	0,300	0,901	0,862	0,859	*
	Ribera del Duero	8,513	0,296	0,887	0,811	0,806	*
	Ribera del Guadiana	14,871	0,288	0,865	0,914	0,912	*
	Rueda	9,919	0,279	0,837	0,830	0,825	*
	Toro	9,315	0,276	0,829	0,816	0,811	*
	Uclés	12,901	0,299	0,897	0,853	0,850	*
	Valdepeñas	13,560	0,287	0,862	0,879	0,876	*
Zamora	11,725	0,285	0,854	0,862	0,859	*	

	Denominaciones	Inicial 1971-2000	Tendencia de crecimiento por década 2001-2050	Crecimiento para todo el periodo 2001-2050	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	
ZONA III	Alella	14,148	0,246	0,737	0,844	0,840	*
	Ampurdán	13,338	0,296	0,888	0,857	0,853	*
	Calatayud	11,353	0,266	0,799	0,721	0,714	*
	Campo de Borja	11,418	0,252	0,755	0,727	0,720	*
	Cariñena	13,332	0,254	0,763	0,727	0,720	*
	Cava	14,473	0,254	0,762	0,857	0,853	*
	Conca del Barberá	14,497	0,244	0,733	0,827	0,823	*
	Costers del Segre	14,790	0,283	0,850	0,803	0,798	*
	Montsant	15,027	0,246	0,737	0,804	0,799	*
	Navarra	12,665	0,253	0,758	0,774	0,768	*
	Penedés	14,847	0,248	0,743	0,853	0,849	*
	Pla de Bages	13,109	0,294	0,883	0,856	0,852	*
	Priorat	15,098	0,242	0,726	0,809	0,805	*
	Rioja	11,092	0,227	0,681	0,722	0,715	*
	Somontano	12,810	0,312	0,937	0,859	0,856	*
	Tarragona	16,043	0,242	0,727	0,836	0,832	*
Terra Alta	15,583	0,247	0,742	0,762	0,756	*	
ZONA IV	Alicante	13,081	0,210	0,630	0,850	0,846	*
	Almansa	12,842	0,223	0,668	0,835	0,831	*
	Bullas	16,425	0,202	0,607	0,847	0,843	*
	Condado de Huelva	15,401	0,233	0,700	0,942	0,941	*
	Jerez	17,392	0,179	0,536	0,917	0,915	*
	Jumilla	15,307	0,217	0,651	0,850	0,846	*
	Málaga	17,127	0,160	0,480	0,811	0,806	*
	Manzanilla	17,996	0,185	0,556	0,917	0,915	*
	Montilla	15,849	0,256	0,767	0,912	0,909	*
	Pla i Llevant	19,759	0,229	0,688	0,897	0,894	*
	Ribera del Júcar	13,114	0,256	0,768	0,856	0,852	*
	Utiel-Requena	13,139	0,231	0,693	0,841	0,837	*
	Valencia	11,150	0,252	0,757	0,846	0,842	*
	Yecla	13,623	0,225	0,674	0,840	0,835	*

Tabla 20. Resultados del análisis de tendencia del índice de Sequía para el periodo 2001-2050 según los modelos climáticos utilizados, donde \* indica niveles de significancia de 0,01

	Denominaciones	Inicial 1971-2000	Tendencia de crecimiento por década 2001-2050	Crecimiento para todo el periodo 2001-2050	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	
ZONA I	Bierzo	26,308	-9,361	-28,084	0,793	0,788	*
	Monterrei	112,005	-11,199	-33,597	0,778	0,772	*
	Rías Baixas	193,283	-10,486	-31,459	0,737	0,730	*
	Ribeiro	62,791	-10,543	-31,630	0,829	0,825	*
	Riberia Sacra	66,516	-9,426	-28,278	0,777	0,772	*
	Tierra de León	-10,480	-6,081	-18,242	0,523	0,511	*
	Txacoli de Álava	145,124	-8,185	-24,554	0,710	0,702	*
	Txacoli de Bizcaia	257,742	-7,977	-23,931	0,757	0,751	*
	Txacoli de Guetaria	342,404	-8,567	-25,701	0,535	0,523	*
	Valdeorras	67,309	-9,942	-29,827	0,802	0,796	*

	Denominaciones	Inicial 1971-2000	Tendencia de crecimiento por década 2001-2050	Crecimiento para todo el periodo 2001-2050	R <sup>2</sup>	Adj R <sup>2</sup>	
ZONA II	Arlanza	-18,685	-8,933	-26,798	0,748	0,741	*
	Arribes	-29,859	-9,235	-27,706	0,804	0,799	*
	Cigales	-28,775	-6,291	-18,872	0,683	0,675	*
	La Mancha	-105,608	-5,330	-15,990	0,556	0,544	*
	Madrid	-31,321	-6,865	-20,595	0,730	0,723	*
	Manchuela	-93,338	-6,093	-18,280	0,678	0,670	*
	Méntrida	-77,779	-6,910	-20,731	0,759	0,753	*
	Mondejar	-126,636	-7,050	-21,149	0,646	0,637	*
	Ribera del Duero	-37,625	-9,390	-28,170	0,760	0,753	*
	Ribera del Guadiana	-103,897	-5,608	-16,823	0,658	0,649	*
	Rueda	-53,081	-5,871	-17,613	0,663	0,654	*
	Toro	-56,764	-5,172	-15,517	0,639	0,630	*
	Uclés	-88,580	-6,859	-20,577	0,627	0,618	*
	Valdepeñas	-120,557	-4,969	-14,907	0,602	0,591	*
Zamora	-41,349	-6,890	-20,670	0,691	0,683	*	
ZONA III	Alella	54,874	-5,624	-16,871	0,366	0,349	*
	Ampurdán	49,958	-9,040	-27,120	0,758	0,752	*
	Calatayud	-34,211	-7,449	-22,348	0,570	0,559	*
	Campo de Borja	-1,719	-5,623	-16,870	0,459	0,446	*
	Cariñena	-12,869	-7,839	-23,518	0,610	0,600	*
	Cava	84,693	-5,960	-17,881	0,582	0,571	*
	Conca del Barberá	45,293	-4,707	-14,121	0,502	0,489	*
	Costers del Segre	-89,592	-5,358	-16,074	0,630	0,620	*
	Montsant	23,569	-5,230	-15,689	0,542	0,531	*
	Navarra	-22,519	-7,268	-21,805	0,870	0,867	*
	Penedés	67,034	-5,782	-17,346	0,628	0,619	*
	Pla de Bages	16,848	-6,355	-19,066	0,535	0,523	*
	Priorat	69,973	-4,779	-14,337	0,515	0,502	*
	Rioja	33,405	-8,416	-25,249	0,828	0,824	*
	Somontano	-42,692	-5,743	-17,228	0,681	0,673	*
	Tarragona	68,942	-5,233	-15,699	0,594	0,583	*
Terra Alta	-23,213	-5,654	-16,961	0,471	0,457	*	
ZONA IV	Alicante	-70,989	-4,008	-12,024	0,448	0,434	*
	Almansa	-91,982	-5,178	-15,535	0,581	0,570	*
	Bullas	-63,494	-6,201	-18,603	0,562	0,551	*
	Condado de Huelva	-126,629	-6,859	-20,576	0,794	0,789	*
	Jerez	-73,639	-6,815	-20,445	0,817	0,813	*
	Jumilla	-135,410	-4,744	-14,232	0,644	0,635	*
	Málaga	-58,961	-3,322	-9,965	0,325	0,307	*
	Manzanilla	-83,979	-5,932	-17,795	0,761	0,755	*
	Montilla	-132,170	-5,139	-15,416	0,598	0,588	*
	Pla i Llevant	27,746	-4,368	-13,105	0,460	0,446	*
	Ribera del Júcar	-96,780	-6,445	-19,334	0,602	0,592	*
	Utiel-Requena	-73,363	-5,881	-17,643	0,602	0,592	*
	Valencia	-35,976	-5,954	-17,862	0,603	0,593	*
Yecla	-109,274	-4,633	-13,898	0,558	0,547	*	

En la Figura 34 se pueden observar los resultados del estudio de tendencia de las variaciones del índice de Huglin durante 2001-2050 para estas 6 DOP. En ella se

puede observar la tendencia creciente de incremento del índice y, en el caso del análisis decenal, como se ajusta a una tendencia lineal. El crecimiento se observa continuo desde el periodo inicial de estudio, si bien en todas las DOP se observa una ralentización en la década de los 20, para posteriormente retomar el crecimiento con mayor fuerza. La tendencia más alta en las dos últimas décadas parece un elemento común en mayor o menor medida a todas las DOP, como demuestra la mayor pendiente de la tendencia si se estudia únicamente las dos últimas décadas. Los datos de crecimiento decenal para todas las DOP (Tabla 18) estarían en torno a los 30 °C anuales en las DOP del norte (Rías Baixas o Chacolí de Getaria) y los 70 °C anuales en las interiores de la zona II (Mancha o Méntrida por ejemplo).

En la Figura 35 se pueden observar los resultados del estudio de tendencia de las variaciones del índice de Frescor Nocturno durante 2001-2050 para estas las 6 DOP de referencia. En ella se puede distinguir una tendencia creciente de incremento del índice, que en el caso del análisis decenal también se ajusta a una tendencia lineal. El crecimiento se observa continuo desde el periodo inicial de estudio, si bien en todas las DOP se observa una ralentización a finales de la década de los 20, para posteriormente retomar el crecimiento con mayor fuerza. La tendencia más alta en las dos últimas décadas en mayor o menor medida, parece un elemento común a todas las DOP, como demuestra la mayor pendiente de la tendencia en las dos últimas décadas. Todas las DOP vitícolas muestran tendencias crecientes entre algo menos de 0,2 °C por década en este índice para las más costeras de la zona I, como Chacolí o Rías Baixas, o de la zona IV, como Jerez o Málaga.

Por último en la Figura 36 se pueden observar los resultados del estudio de tendencia de las variaciones del índice de Sequía durante 2001-2050 para estas las 6 DOP de referencia. También se distingue una tendencia decreciente del índice de de Sequía, que en el caso del análisis decenal también se ajusta correctamente a una tendencia lineal. El crecimiento se observa continuo desde el periodo inicial de estudio, si bien en todas las DOP se observa aceleramiento a partir de 2040. La tendencia más alta en las dos últimas décadas en mayor o menor medida, parece un elemento común a todas ellas, como demuestra la mayor pendiente de la tendencia en las dos últimas décadas salvo en Rías Baixas, precisamente donde para el periodo de 50 años mayor es la tendencia negativa.

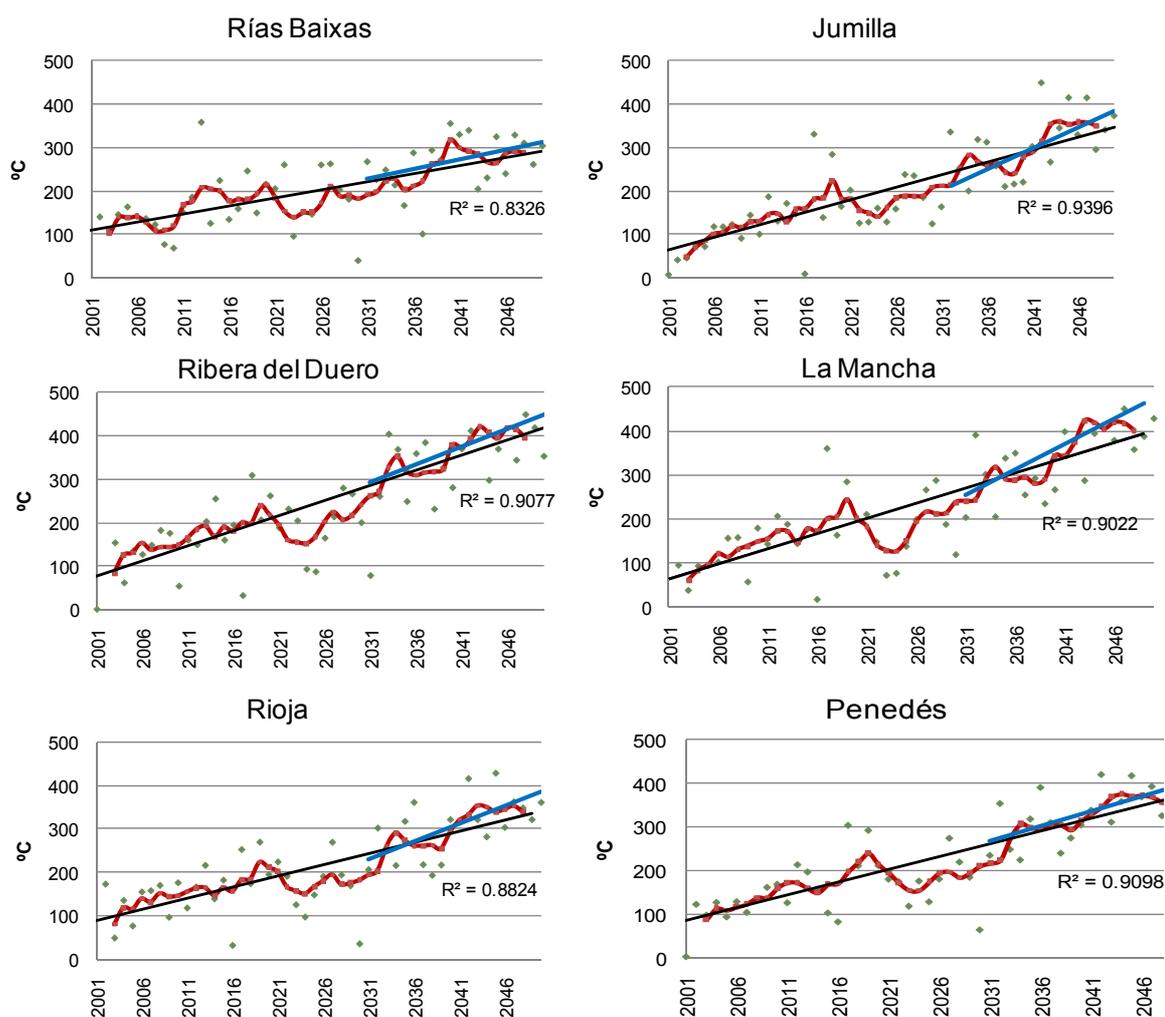


Figura 34. Resultado de estudio de tendencia de las variaciones del índice de Huglin para las proyecciones climáticas del proyecto ESCENA. Los puntos representan la media anual de todas las 19 proyecciones climáticas, la línea roja representa la media móvil quinquenal de los datos anuales, la línea negra la línea de tendencia de la media móvil decenal para el periodo 2001-2050 y la azul la línea de tendencia de la media móvil decenal para el periodo 2021-2050

Todas las DOP vitícolas muestran tendencias decrecientes hacia climas más secos entre algo menos de 3 mm por década en las del sureste de la zona IV (Jumilla, Málaga e incluso Mallorca) y hasta 11 mm por década para las ubicadas en zonas más húmedas de la zona I (Monterrey, Rías Baixas y Ribeiro).

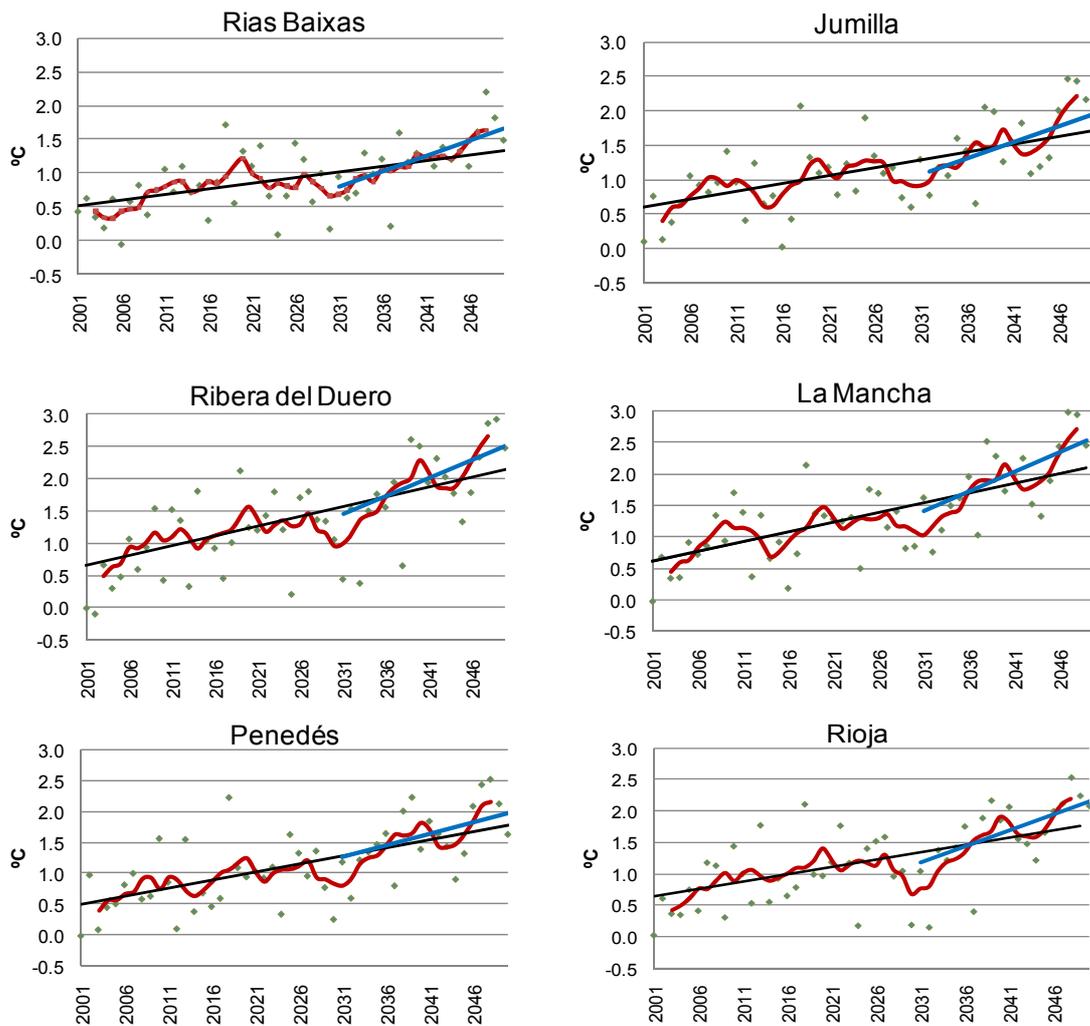


Figura 35. Resultado de estudio de tendencia de las variaciones del índice de Frescor Nocturno para las proyecciones climáticas del proyecto ESCENA. Los puntos representan la media anual de todas las 19 proyecciones climáticas, la línea roja representa la media móvil quinquenal de los datos anuales, la línea negra la línea de tendencia de la media móvil decenal para el periodo 2001-2050 y la azul la línea de tendencia de la media móvil decenal para el periodo 2021-2050

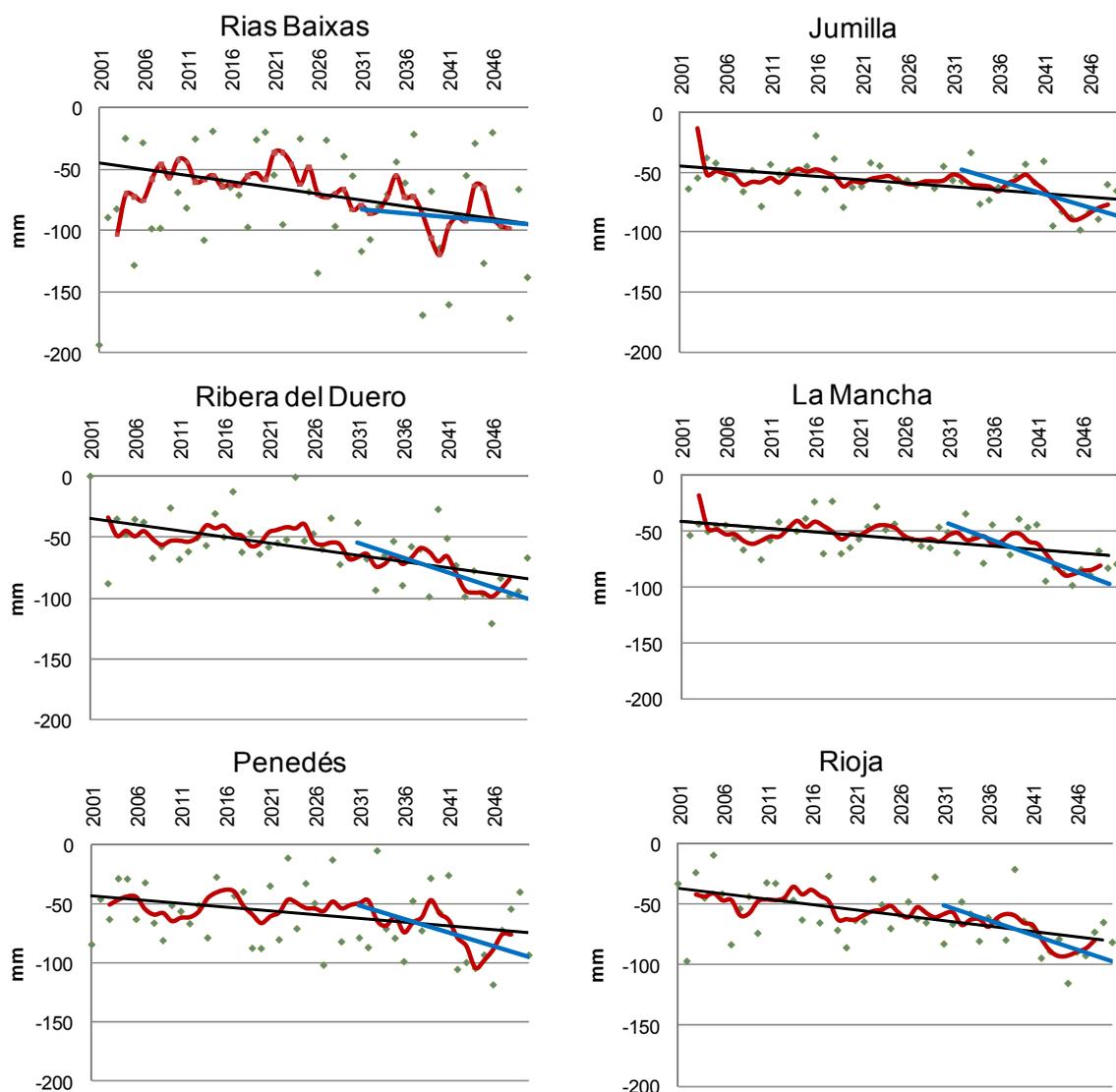


Figura 36. Resultado de estudio de tendencia de las variaciones del Índice de Sequía para las proyecciones climáticas del proyecto ESCENA. Los puntos representan la media anual de todas las 19 proyecciones climáticas, la línea roja representa la media móvil quinquenal de los datos anuales, la línea negra la línea de tendencia de la media móvil decenal para el periodo 2001-2050 y la azul la línea de tendencia de la media móvil decenal para el periodo 2021-2050

### 5.3. Variabilidad interanual en los escenarios

Otro de los valores importantes a la hora de definir la calidad es la variabilidad interanual, que define las características de cada añada. Las condiciones específicas climáticas de un año completo definen la calidad específica de un año concreto, lo que afecta al valor de los vinos. Para comparar como evolucionaría esta variabilidad interanual, se ha estudiado la desviación típica en los dos periodos de análisis: el periodo de referencia de 1971-2000 y las proyecciones de Cambio Climático para 2021-2050. Se ha utilizado la desviación típica por ser una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio y que puede ser interpretada como una medida de incertidumbre. Los resultados cuantitativos se encuentran en la Figura 37, donde se indica en cuantos de los 19 modelos se incrementaría la variabilidad interanual. 4

Las DOP para las que existen más modelos con un incremento de la variabilidad coinciden con las que tienen un mayor incremento de la desviación estándar en cada uno de ellos. Estos resultados pueden observarse para los índices de Huglin y Frescor Nocturno en la Figura 38 y en la Figura 39 respectivamente. En ellas se observa un mayor aumento de la variabilidad interanual sobre todo en las zonas más interiores de la mitad norte peninsular como Ribera del Duero, Arlanza, Rueda, Navarra e incluso Rioja (para el índice de Huglin) y del este como Manchuela y Utiel-Requena. Para el índice de Sequía (Figura 40) la variabilidad interanual sería mayor en aquellas zonas más interiores, como son la mayoría de las DOP de la zona II como Ribera del Duero y La Mancha y algunas de la zona III, como son Navarra, Somontano y Calatayud.

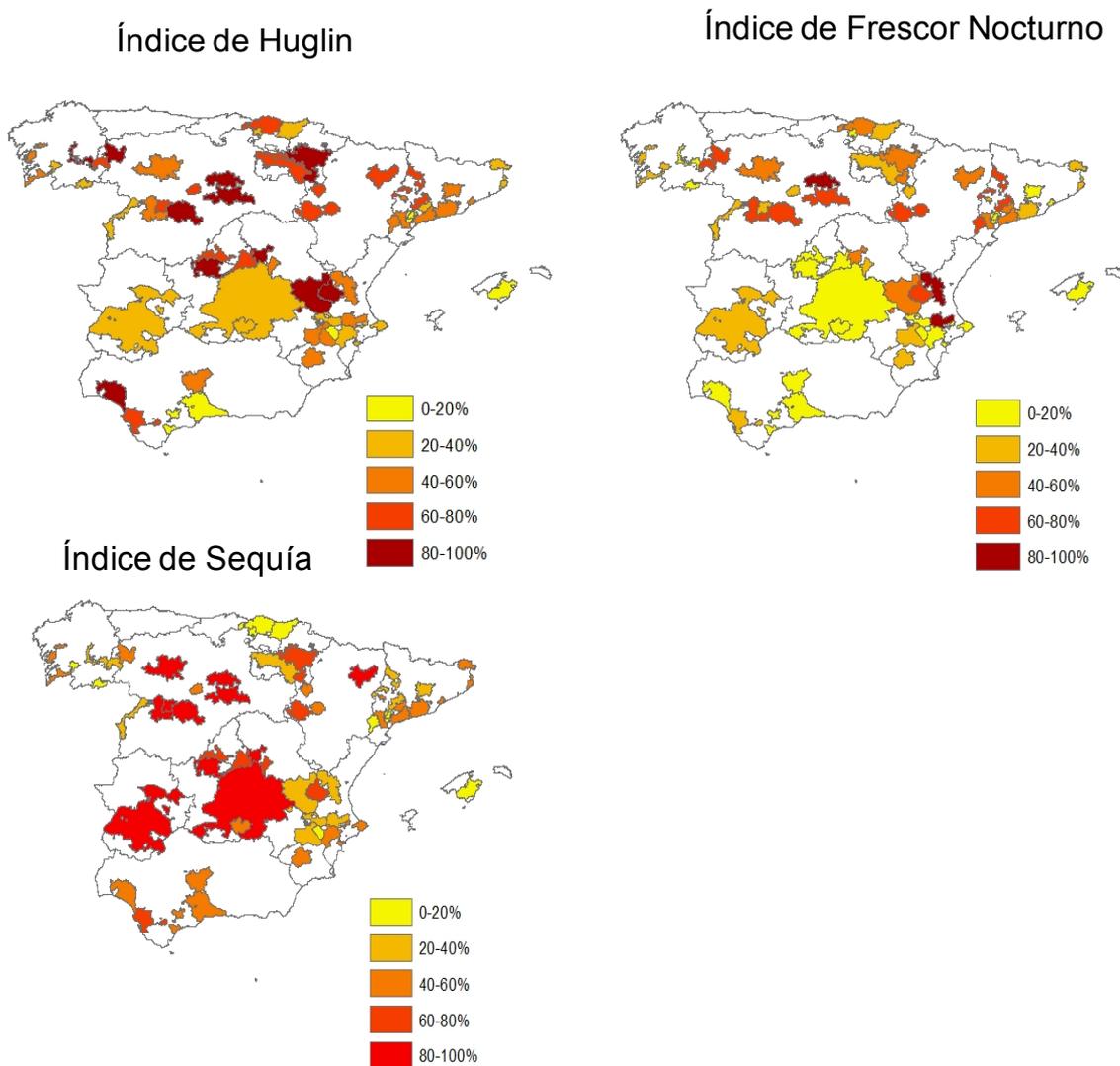


Figura 37. Porcentaje de distintos modelos climáticos en el periodo (2021-2050) donde la variabilidad interanual es mayor que en el periodo de clima de referencia (1971-2000) en las DOP

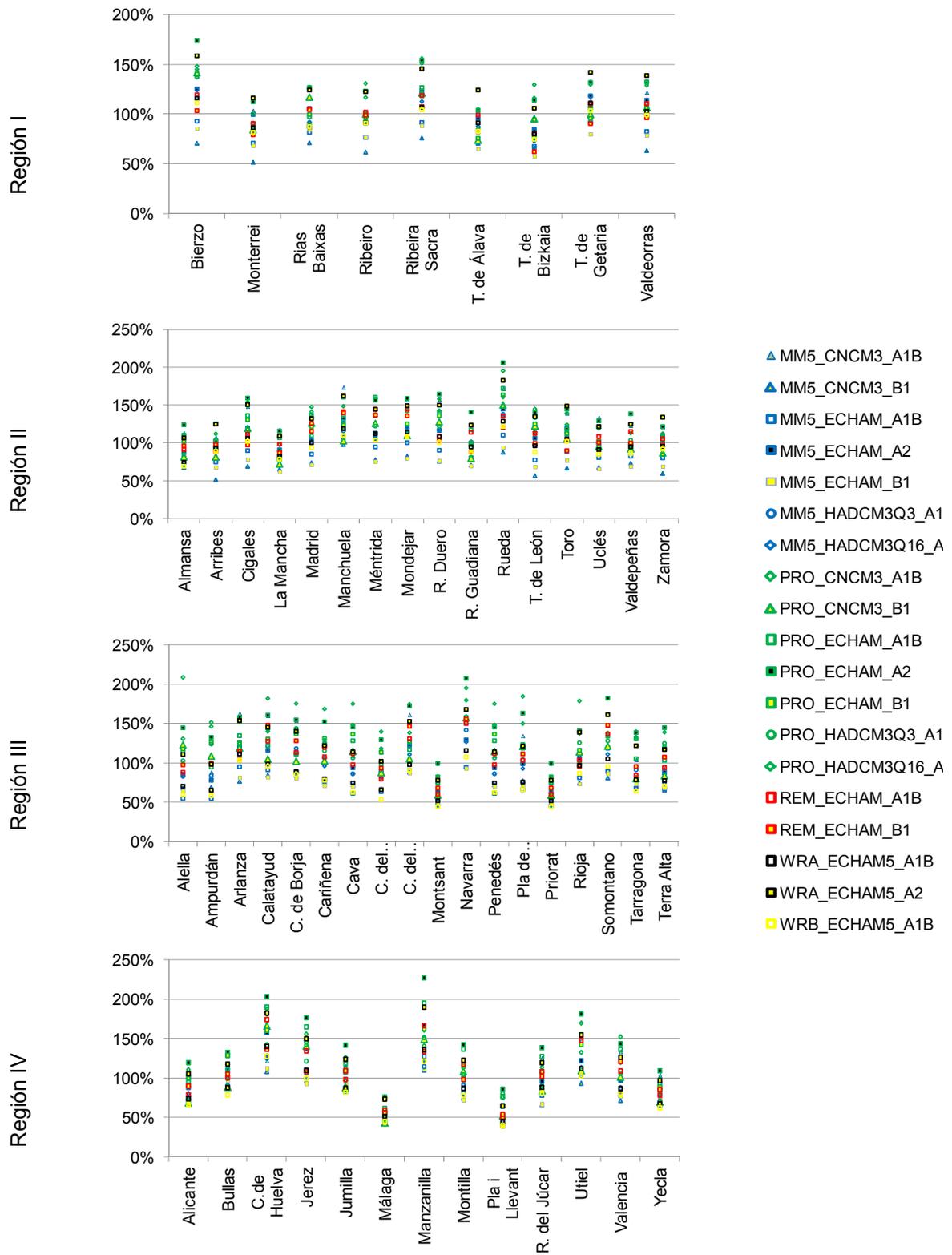


Figura 38. Variación de la desviación estándar del índice de Huglin anual para cada las proyecciones climáticas del periodo 2021-2050 respecto al 1971-2000

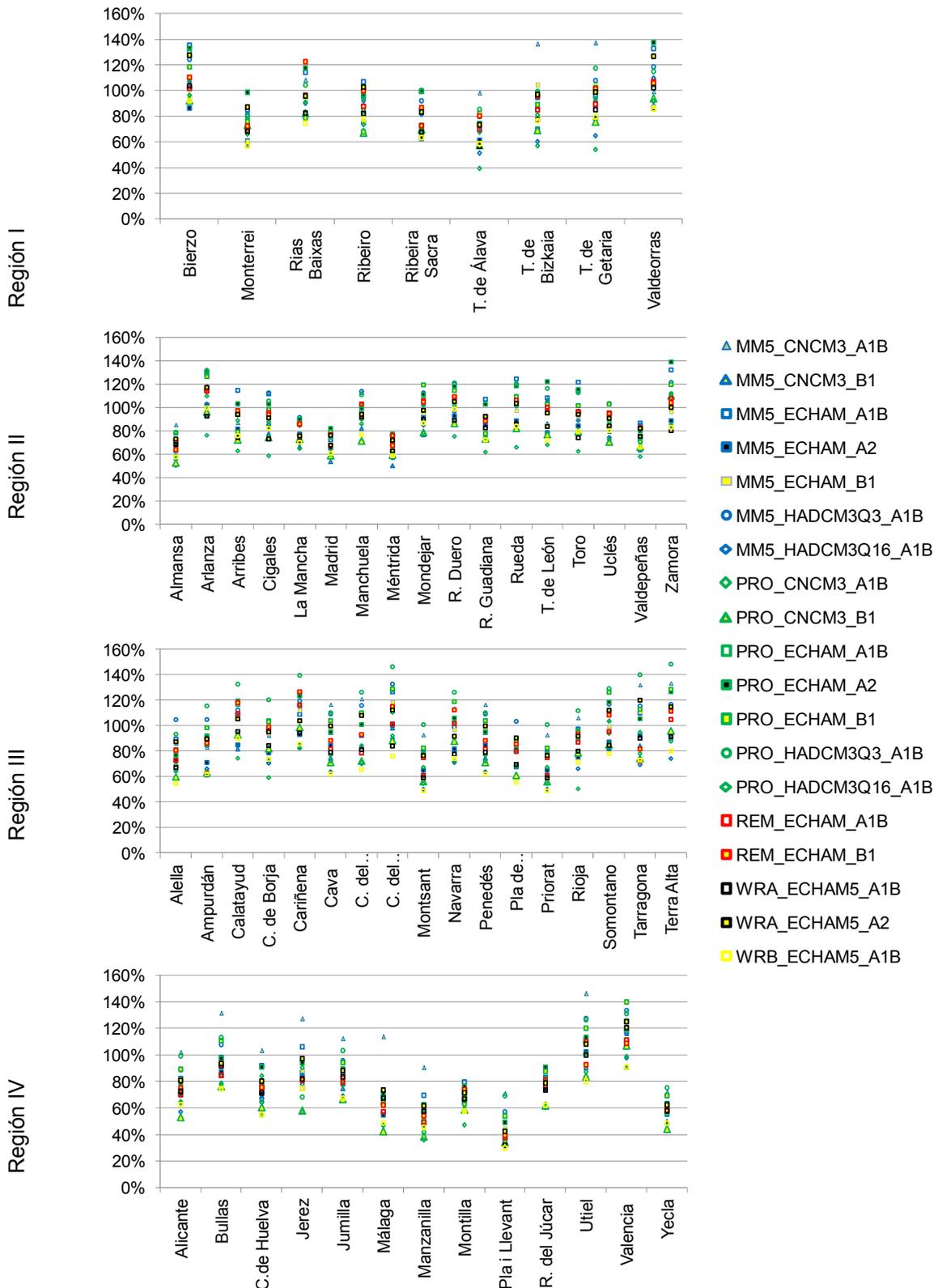
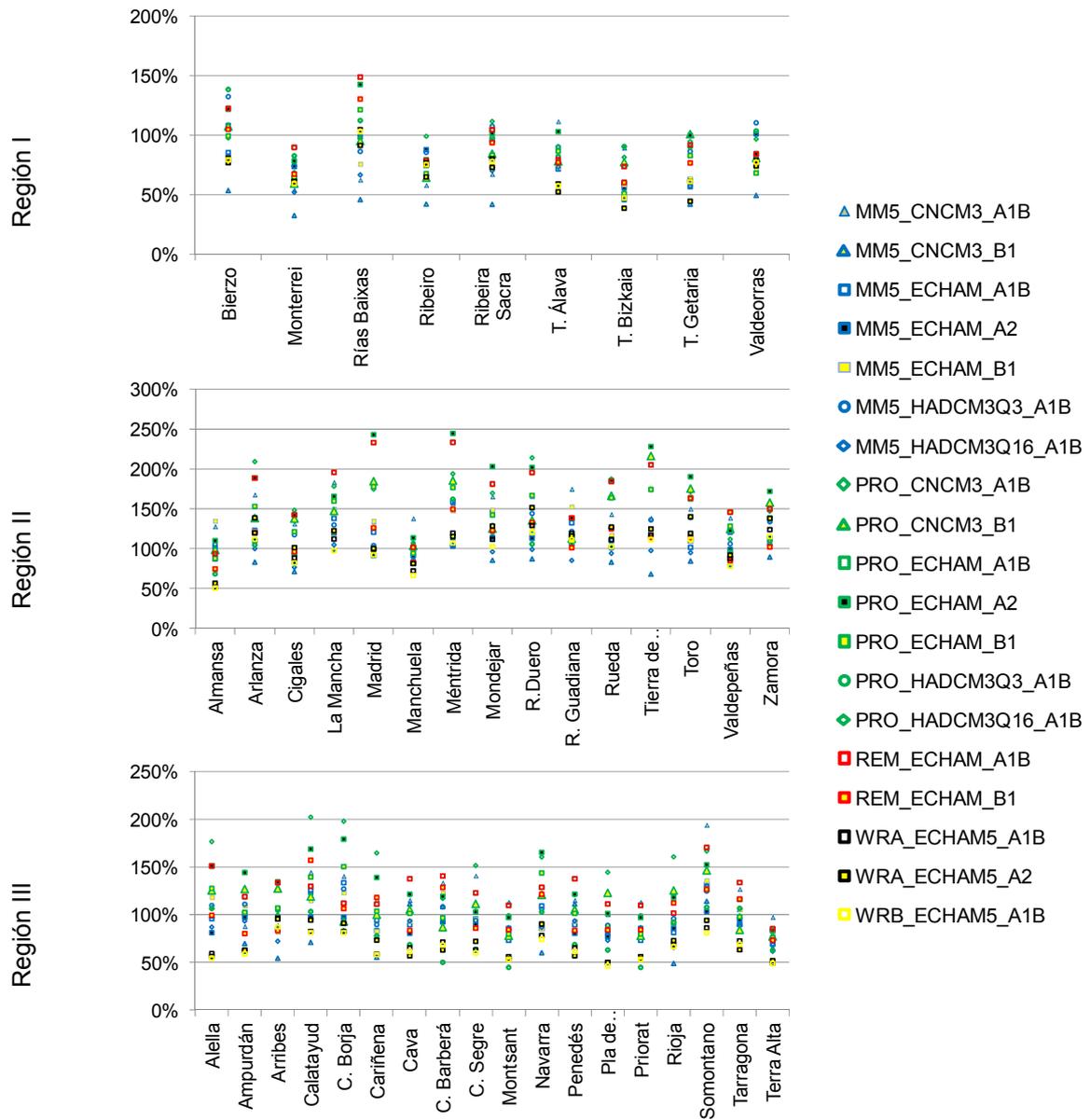


Figura 39. Variación de la desviación estándar del índice de Frescor Nocturno anual para las proyecciones climáticas del periodo 2021-2050 respecto al 1971-2000



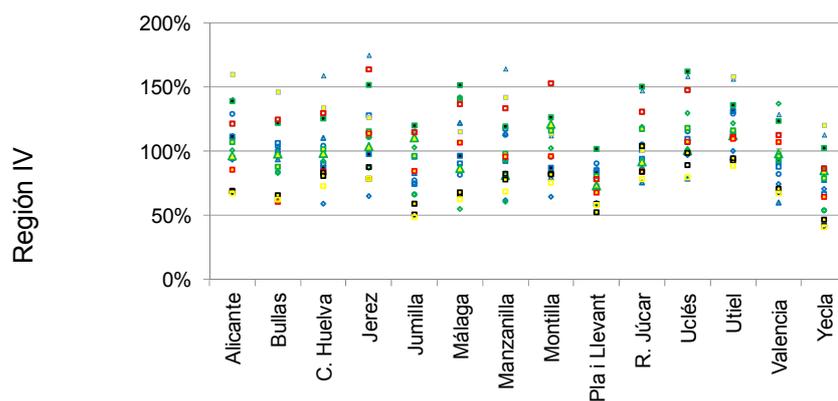


Figura 40. Variación de la desviación estándar del índice de Sequía anual para las proyecciones climáticas del periodo 2021-2050 respecto al 1971-2000

#### 5.4. Evaluación de la magnitud en los cambios del potencial vitícola

Los resultados obtenidos con el índice de Huglin permiten observar como las partes más cálidas, que se corresponden con la mitad sur peninsular irían paulatinamente cambiando (Figura 41) 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 (Figura 41), se puede observar como los viñedos ubicados en zonas con clases de clima más frías 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 Gadiana. 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.

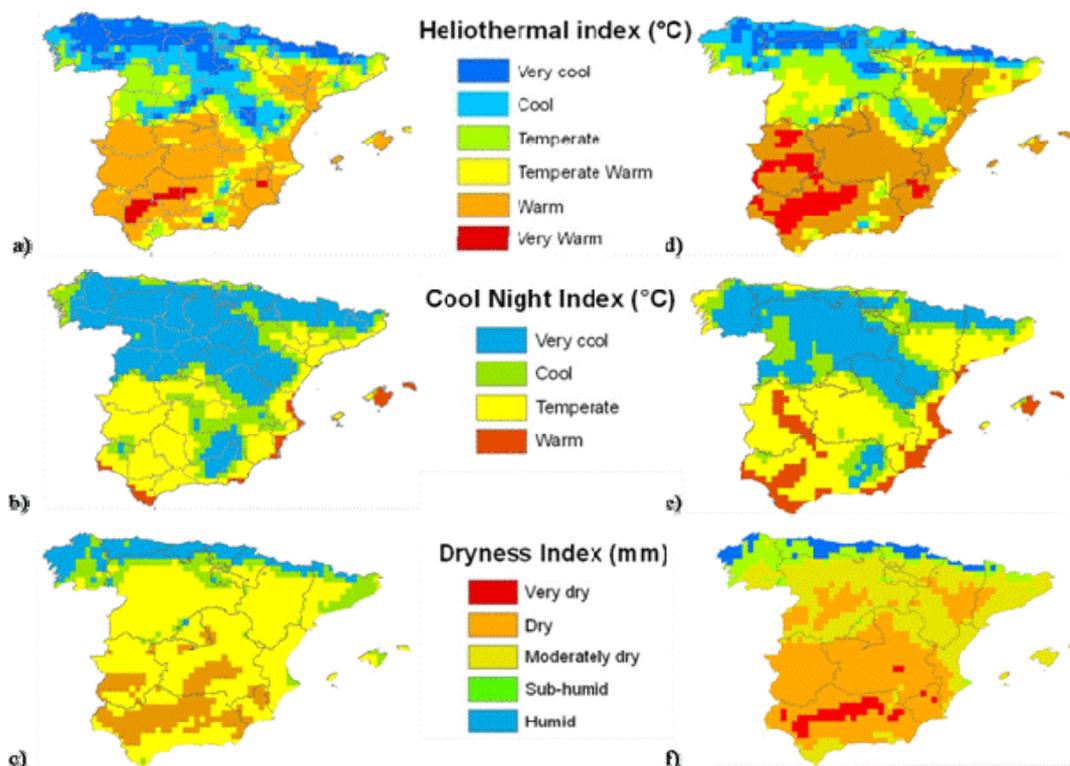


Figura 41. A la izquierda: clasificación climática del periodo pasado reciente (1971-2000) para el índice Huglin (a), Frescor Nocturno (b) y sequía (c). A la derecha: clasificación climática con resultados promedio para las proyecciones 2021-2050 índice Huglin (d), Frescor Nocturno (e) y sequía (f)

Los resultados finales para cada uno de los índices según los distintos escenarios A1B, B1 y A2 se pueden observar en la Figura 42. Las diferencias más notables se producen en el índice de Huglin, que sirve para determinar la idoneidad de una zona para el cultivo de la vid o si el ciclo de la viña se adapta a la temperatura e insolación de la zona.

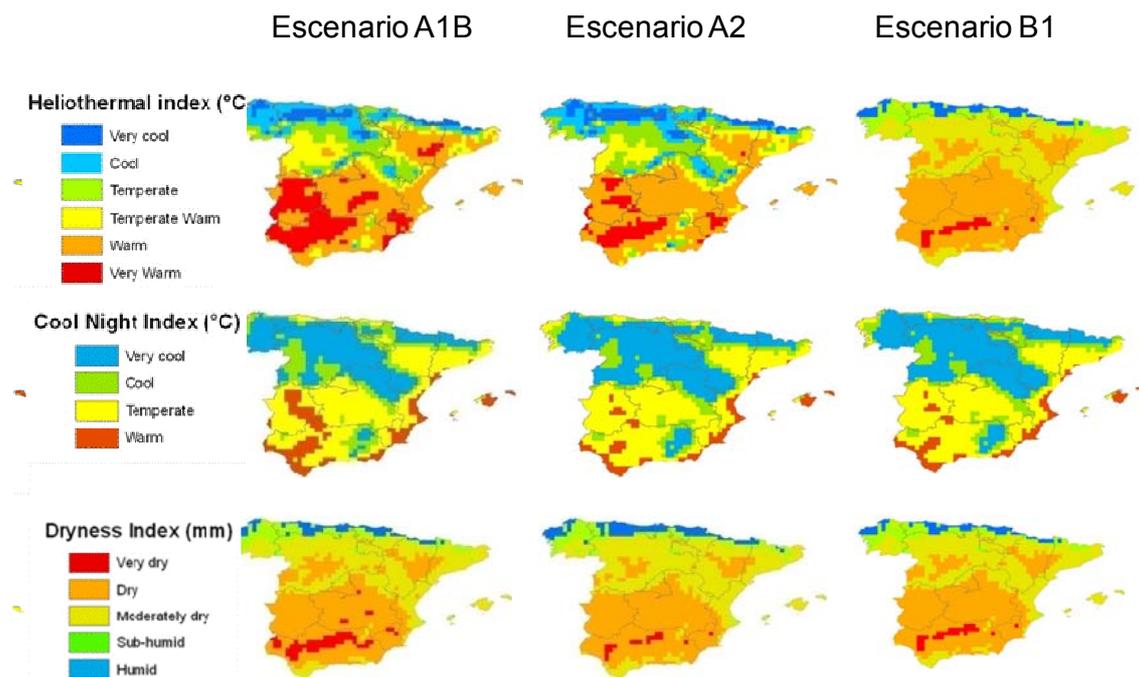


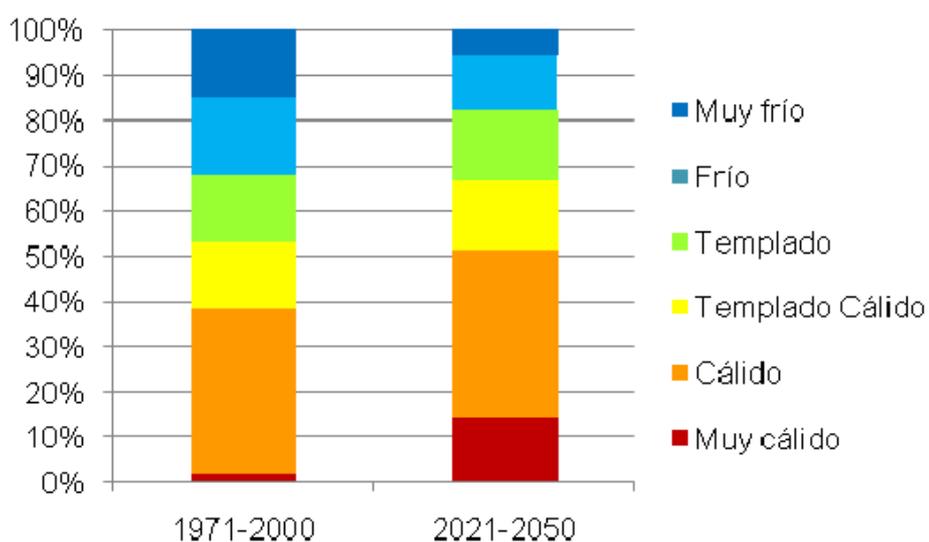
Figura 42. Clasificación climática para 2021-2050 según el índice Huglin, Frescor Nocturno y sequía para las proyecciones en los escenarios de emisiones A1B, A2 y B1

### 5.5. 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 43) y la clase de noches muy frías (Figura 44). 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 45), 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 43. 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*

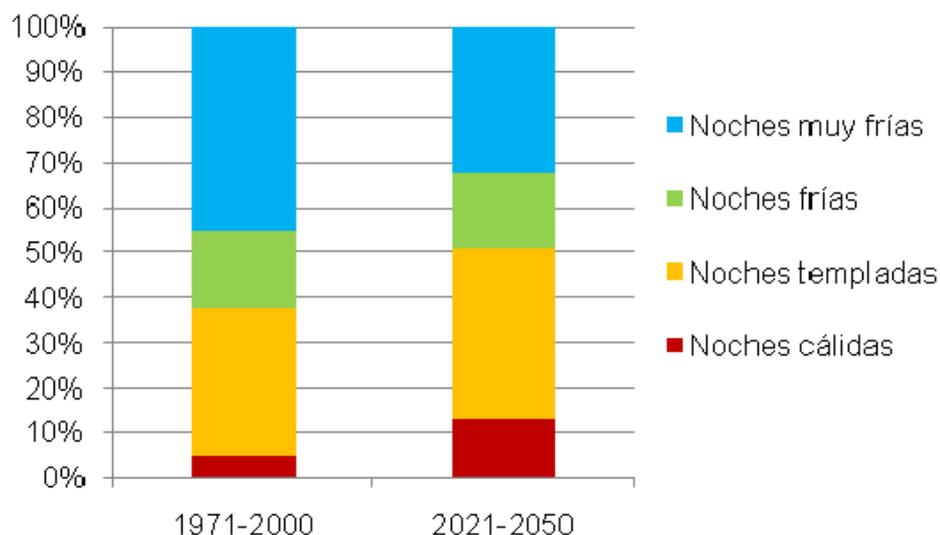


Figura 44. Cambios en el porcentaje de superficie de viñedo que corresponden a los distintos niveles de índice de Frescor Nocturno en el periodo 1971-2000 y en el periodo de Cambio Climático 2021-2050 con la media de los 19 escenarios

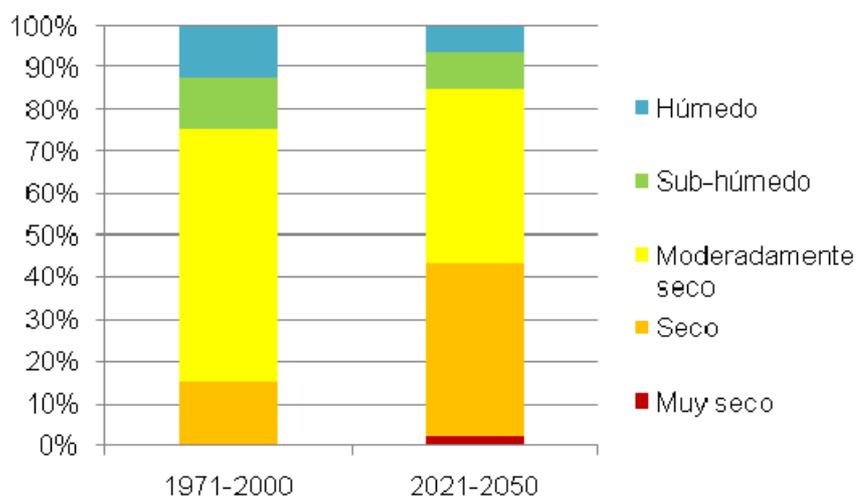


Figura 45. Cambios en el porcentaje de superficie de viñedo que corresponden a los distintos niveles de índice de Sequía en el periodo 1971-2000 y en el periodo de Cambio Climático 2021-2050 con la media de los 19 escenarios

## 5.6. 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 46, 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.

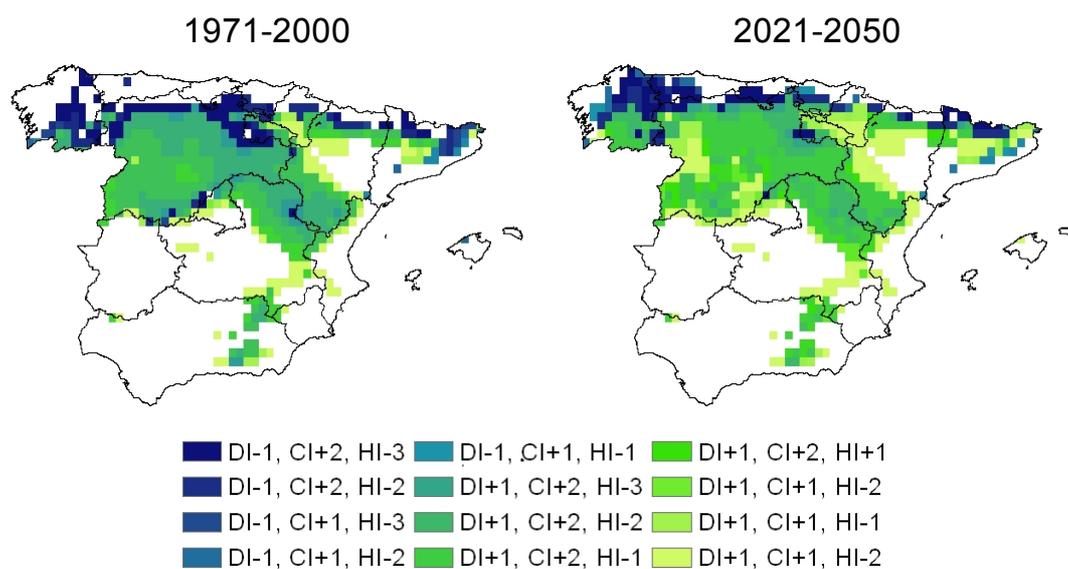
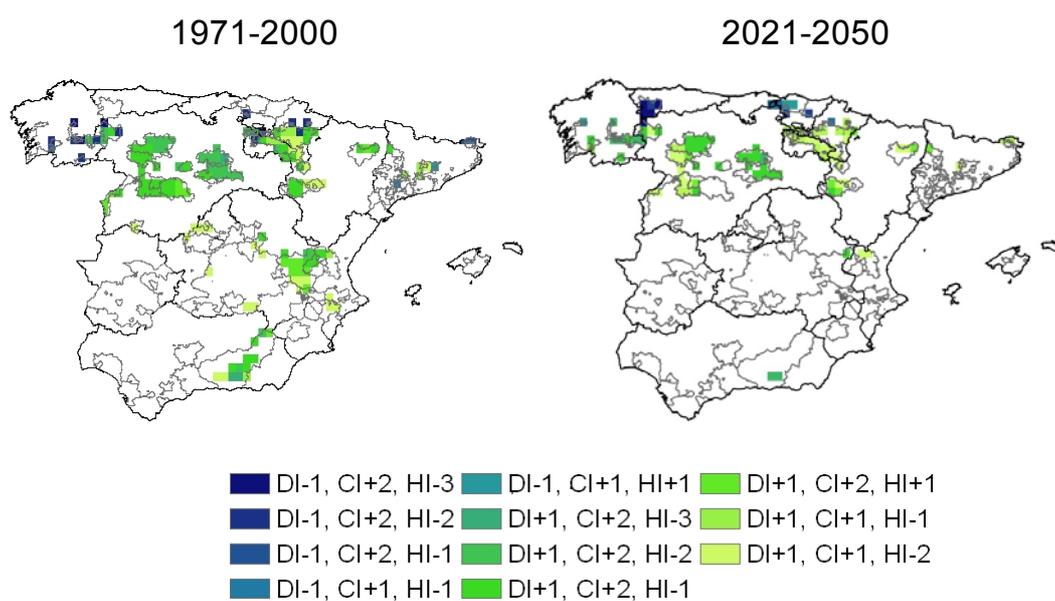


Figura 46. Variación de las zonas de alto potencial climático de calidad vitícola de acuerdo con los valores combinados de los índices de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía para la superficie de toda España entre los periodos 1971-2000 y 2021-2050



*Figura 47. 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*

### 5.7. 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 48) 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, Métrida, Ribera del Júcar, Yecla, Bullas, Jumilla, Alicante, Somontano, Almansa, Huelva, Costers del Segre, Jerez, Málaga, Ribera del Guadiana y Vinos de Madrid.

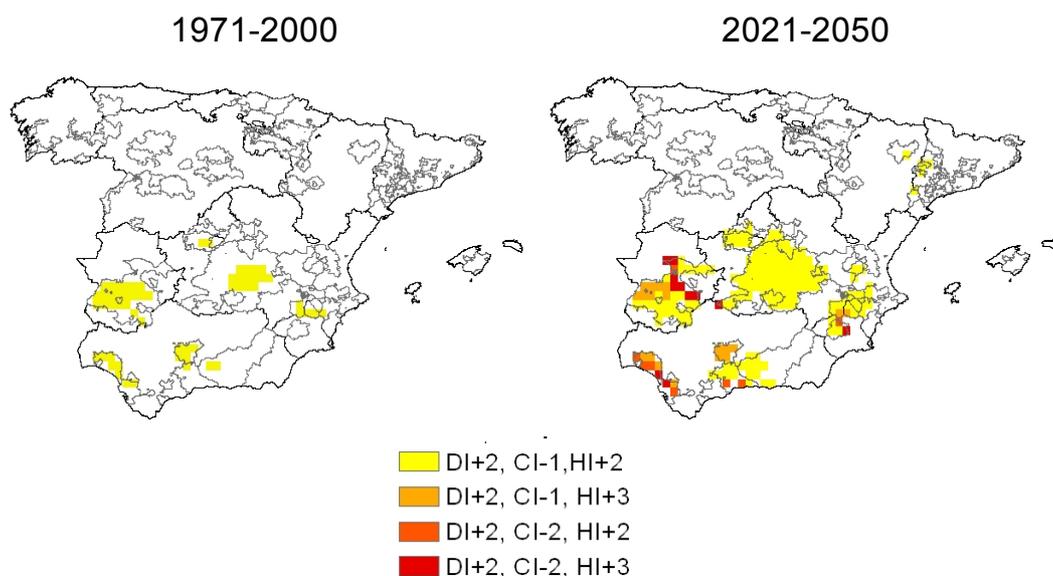


Figura 48. Variación de las zonas de bajo potencial climático de calidad vitícola de acuerdo con los valores combinados de los índices de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía para la superficie incluida dentro de las DOP entre los periodos 1971-2000 y 2021-2050

### 5.8. Zonificación e incertidumbre en función del potencial climático para la viticultura en cada una de las DOP

Los resultados de los índices de potencial para los dos periodos, 1971-2000 y 2021-2050 basados en los 19 proyecciones  $\Delta$ , se pueden observar en la Tabla 21 para el índice de Huglin, la Tabla 22 para el índice de Frescor Nocturno y en la Tabla 23 para el índice de Sequía. En ellas se encuentra un estudio de cada una de las DOP con la media de las 19 proyecciones, la desviación estándar, el valor máximo y el valor mínimo. La desviación nos indica las zonas donde las proyecciones aportan más incertidumbre entre zonas. Para el índice de Huglin la desviación estándar se

encuentra entre los 50 °C y los 120 °C anuales, aunque la mayor parte se encuentra entre los 90 °C y los 110 °C anuales, por encima destacan las zonas del Bierzo, Montilla, Navarra, Ribeiro y Ribera del Duero, mientras que entre 50 °C y 70 °C anuales destacan las tres denominaciones de Chacolí del País Vasco.

*Tabla 21. Valor del índice de Huglin en cada una de las DOP según los datos reales medios observados en el periodo 1971-2000; y la media, desviación estándar y valores máximos y mínimos de las 19 proyecciones delta para el periodo 2021-2050*

Variable	1971-2000	2021-2050			
		Media	Desviación.	Min	Max
Alella	2232	2499,033	102,5499	2358,408	2700,249
Alicante	2333	2580,886	90,63686	2444,301	2819,69
Almansa	2459	2714,304	98,44659	2569,782	2976,227
Ampurdán	2145	2396,907	107,3691	2269,664	2607,859
Arlanza	1635	1917,207	98,50209	1800,573	2141,181
Arribes	2134	2393,87	99,74721	2274,505	2596,671
Bierzo	1788	2064,6	113,9339	1937,15	2282,845
Bullas	2632	2890,998	93,51213	2746,453	3138,193
Calatayud	2050	2322,426	93,29509	2184,032	2557,47
Campo de Borja	1996	2262,357	87,72715	2127,996	2480,069
Cariñena	2261	2520,464	92,12329	2389,222	2757,322
Cava	1958	2221,367	104,3934	2077,885	2458,576
Cigales	1785	2064,118	97,29444	1953,546	2280,488
Conca del Barberá	1916	2168,999	101,5161	2031,968	2407,898
Condado de Huelva	2863	3141,549	101,528	3003,566	3358,305
Costers del Segre	2765	3028,116	91,14403	2902,043	3257,814
Jerez	2662	2919,557	93,83558	2786,76	3095,938
Jumilla	2949	3199,762	89,52157	3061,928	3433,587
La Mancha	2661	2944,641	91,95436	2793,892	3144,978
Madrid	2110	2398,57	102,7977	2263,024	2613,506
Málaga	2488	2713,63	90,83159	2572,66	2937,146
Manchuela	2365	2640,046	87,98201	2491,153	2856,091
Manzanilla	2720	2972,253	81,11793	2864,375	3114,777
Méntrida	2452	2746,826	100,7206	2600,711	2948,378
Mondejar	2529	2823,374	96,63982	2688,01	3044,324
Monterrei	1698	1951,333	100,7176	1835,73	2152,085
Montilla	2941	3241,021	111,4191	3056,338	3450,048
Montsant	2234	2478,392	94,95958	2350,346	2706,825
Navarra	2254	2524,588	106,6965	2384,93	2746,016
Penedés	1958	2221,367	104,3934	2077,885	2458,576
Pla i Llevant	2313	2876,981	98,71315	2717,834	3089,171
Pla de Bages	2636	2594,632	104,6664	2440,536	2827,157
Priorat	2234	2478,392	94,95958	2350,346	2706,825
Rías Baixas	1945	2176,979	106,7778	2055,473	2395,103
Ribeiro	1980	2242,456	107,0802	2118,426	2443,098
Ribera del Duero	1841	2137,332	107,9452	2011,276	2361,444
Ribera del Guadiana	2666	2948,29	102,3879	2798,636	3136,85
Ribera del Júcar	2561	2865,12	102,7403	2701,39	3091,482
Ribeira Sacra	1523	1771,256	100,9158	1659,388	1973,451
Rioja	1768	2013,494	84,7375	1882,655	2184,746
Rueda	2012	2292,583	97,21072	2177,579	2500,531

Variable	1971-2000	2021-2050			
		Media	Desviación.	Min	Max
Somontano	2442	2714,607	99,5944	2580,931	2951,51
Tarragona	2137	2385,126	95,45908	2257,644	2616,265
Terra Alta	2536	2779,863	94,89532	2649,803	3032,235
Tierra de León	1837	2096,893	94,35389	1989,336	2297,868
Toro	1903	2170,418	89,9832	2066,506	2369,956
Chacolí de Álava	1597	1808,032	51,83232	1732	1932,072
Chacolí de Bizkaia	1762	1972,508	77,88025	1890,328	2165,125
Chacolí de Getaria	1540	1747,797	54,05249	1680,771	1874,469
Uclés	2503	2792,259	101,1923	2644,286	2994,713
Utiel-Requena	2461	269,7015	98,23489	121,3999	513,2424
Valdeorras	1538	1797,136	98,54124	1676,916	1998,528
Valdepeñas	2703	3008,162	100,4447	2841,13	3201,29
Valencia	2018	2281,022	97,74272	2128,361	2543,977
Yecla	2641	2885,619	87,95712	2750,303	3116,837
Zamora	1992	2265,298	95,44441	2156,629	2485,284

En el caso del índice de Frescor Nocturno (Tabla 22), la desviación estándar se encuentra entre los 0,3 °C y los 0,7 °C, destacando en el límite superior es decir por su mayor incertidumbre las denominaciones de Valdepeñas, Ribera del Guadiana, Uclés, Montilla, Ribera del Júcar y Somontano, zonas en principio con alto estrés térmico. Por el contrario las que demuestran menos incertidumbre serían zonas del norte como Rías Baixas y nuevamente las Denominaciones del País Vasco, con una gran influencia atlántica.

*Tabla 22. Valor del índice de Frescor Nocturno en cada una de las DOP según los datos reales medios observados en el periodo 1971-2000; y la media, desviación estándar y valores máximos y mínimos de las 19 proyecciones delta para el periodo 2021-2050*

Variable	1971-2000	2021-2050			
		Media	Desviación.	Min	Max
Alella	14	15,57182	0,4433969	14,85861	16,75194
Alicante	13	14,4615	0,5711903	13,4379	15,9139
Almansa	13	14,24081	0,6109794	13,1602	15,69787
Ampurdán	13	14,85604	0,5467824	14,18632	16,61499
Arlanza	8	9,750388	0,5534158	9,037633	11,24897
Arribes	11	12,19812	0,5782623	11,37564	13,68364
Bierzo	10	11,89405	0,5459649	11,0151	13,4281
Bullas	16	17,79973	0,5580058	16,81829	19,18696
Calatayud	11	12,94317	0,5601305	12,2715	14,46117
Campo de Borja	11	12,95123	0,5090297	12,36566	14,32099
Cariñena	13	14,88835	0,5527807	14,19833	16,41667

Variable	1971-2000	2021-2050			
		Media	Desviación.	Min	Max
Cava	14	15,89432	0,5547108	14,7852	17,42153
Cigales	10	11,31327	0,514424	10,60813	12,56313
Conca del Barberá	14	15,90981	0,5101838	14,99484	17,33918
Condado de Huelva	15	16,89213	0,6258209	16,0815	18,1495
Costers del Segre	15	16,33713	0,5818437	15,44483	17,97383
Jerez	17	18,7819	0,5947341	17,95848	19,84914
Jumilla	15	16,73715	0,5992104	15,72371	18,20338
La Mancha	15	16,45967	0,6797368	15,58193	18,05727
Madrid	13	14,45133	0,6663889	13,58621	16,17121
Málaga	17	18,40844	0,5878177	17,29018	19,50951
Manchuela	12	13,62235	0,6317814	12,74298	15,16298
Manzanilla	18	19,36898	0,5181475	18,47446	20,25246
Méntrida	14	15,59054	0,6576418	14,70159	17,19126
Mondejar	11	12,55531	0,6300741	11,83726	14,25792
Monterrei	8	9,928018	0,532034	9,169667	11,18533
Montilla	16	17,46915	0,6766717	16,61001	18,66634
Montsant	15	16,45556	0,5278251	15,4643	17,90497
Navarra	13	14,18685	0,498518	13,50692	15,52926
Penedés	14	15,89432	0,5547108	14,7852	17,42153
Pla de Bages	13	14,62449	0,5212443	13,94886	16,15819
Pla i Llevant	20	21,21154	0,5619023	19,8165	22,5375
Priorat	15	16,45556	0,5278251	15,4643	17,90497
Rías Baixas	14	14,60505	0,3607642	14,02318	15,42918
Ribeiro	10	11,77021	0,4187857	11,17306	12,81972
Ribera del Duero	8	10,23733	0,6079996	9,456489	11,89349
Ribera del Guadiana	15	16,48503	0,6837036	15,47826	17,80392
Ribera del Júcar	13	14,65016	0,636912	13,84257	16,25157
Ribeira Sacra	9	10,16527	0,4151671	9,578589	11,26359
Rioja	11	12,54707	0,4511849	11,89476	13,49909
Rueda	10	11,59058	0,581367	10,79207	13,03373
Somontano	13	14,42509	0,6323221	13,63018	16,32484
Tarragona	16	17,45138	0,5327388	16,42058	18,92958
Terra Alta	16	17,07832	0,5716796	16,03666	18,56432
Tierra de León	11	12,7529	0,5715839	12,12611	14,37244
Toro	9	10,94572	0,5589139	10,15057	12,31723
Chacolí de Álava	11	11,82083	0,406656	11,23038	12,76771
Chacolí de Bizkaia	14	15,35159	0,3490152	14,59999	16,09766
Chacolí de Getaria	13	14,63029	0,371518	13,88801	15,44901
Uclés	13	14,53262	0,6558368	13,75829	16,17529
Utiel-Requena	13	14,55649	0,5923748	13,38242	16,00276
Valdeorras	9	10,61177	0,5435329	9,661644	11,94131
Valdepeñas	14	15,22853	0,7001542	14,34442	16,78842
Valencia	11	12,60349	0,5958975	11,74827	14,24227
Yecla	13	15,04442	0,5873509	14,12939	16,51072
Zamora	12	13,37429	0,6274807	12,4835	14,8035

Tabla 23. Valor del índice de Sequía en cada una de las DOP según los datos reales medios observados en el periodo 1971-2000; y la media, desviación estándar y valores máximos y mínimos de las 19 proyecciones delta para el periodo 2021-2050

Variable	1971-2000	2021-2050			
		Media	Desv. Std.	Min	Max
Alella	55	-14,78269	23,07727	-56,71741	16,9604
Alicante	-71	-126,5672	11,80622	-162,6972	-108,4011
Almansa	-92	-148,28	13,99686	-192,3485	-131,7211
Ampurdán	50	-14,78464	20,434	-50,89251	10,62214
Arlanza	-19	-77,57089	13,36879	-110,9519	-59,0947
Arribes	-30	-94,88685	15,68056	-126,8067	-76,28083
Bierzo	26	-39,40191	21,21691	-80,05871	-10,30616
Bullas	-63	-119,6844	15,77966	-172,2964	-101,0828
Calatayud	-34	-91,55157	13,95761	-132,9846	-75,17945
Campo de Borja	-2	-62,16781	13,5064	-96,90887	-48,65166
Cariñena	-13	-74,57339	13,98277	-117,3237	-54,75662
Cava	85	22,90804	23,8137	-39,69268	61,39916
Cigales	-29	-87,7724	12,18772	-122,0365	-74,74401
Conca del Barberá	45	-4,560362	23,78718	-73,68709	27,28148
Condado de Huelva	-127	-184,0769	13,00754	-215,0645	-166,2094
Costers del Segre	-90	-143,4808	16,36488	-195,8896	-125,296
Jerez	-74	-121,9477	14,50384	-160,8794	-100,6288
Jumilla	-135	-193,4569	10,97554	-231,1986	-184,1335
La Mancha	-106	-162,1414	12,94195	-196,4015	-145,4287
Madrid	-31	-88,04106	16,75875	-129,3501	-58,36002
Málaga	-59	-97,23205	16,80362	-150,3596	-75,11485
Manchuela	-93	-153,1173	9,783313	-179,6303	-142,9762
Manzanilla	-84	-124,4178	14,38302	-165,829	-105,9297
Méntrida	-78	-133,3478	12,50529	-164,1033	-112,0617
Mondejar	-127	-188,0215	12,69838	-216,8974	-168,1124
Monterrei	112	29,23506	22,92852	-11,06013	69,20917
Montilla	-132	-194,4333	13,70861	-228,6806	-177,5009
Montsant	24	-32,81653	20,52653	-94,82984	-11,08827
Navarra	-23	-87,76331	18,09855	-128,6159	-61,97639
Penedés	85	22,90804	23,8137	-39,69268	61,39916
Pla de Bages	17	-55,48043	24,61312	-107,6562	-12,71904
Pla i Llevant	28	-26,07166	23,15969	-87,96874	9,843993
Priorat	24	-32,81653	20,52653	-94,82984	-11,08827
Rías Baixas	193	118,9852	33,55026	61,90643	184,8415
Ribeiro	63	-19,74184	20,2682	-54,49283	5,734949
Ribera del Duero	-38	-100,9242	14,3037	-131,5854	-79,56853
Ribera del Guadiana	-104	-163,608	11,81546	-195,0295	-147,6028
Ribera del Júcar	-97	-166,9671	12,97344	-201,9843	-149,7731
Ribeira Sacra	67	-1,973936	18,30217	-32,99318	18,8046

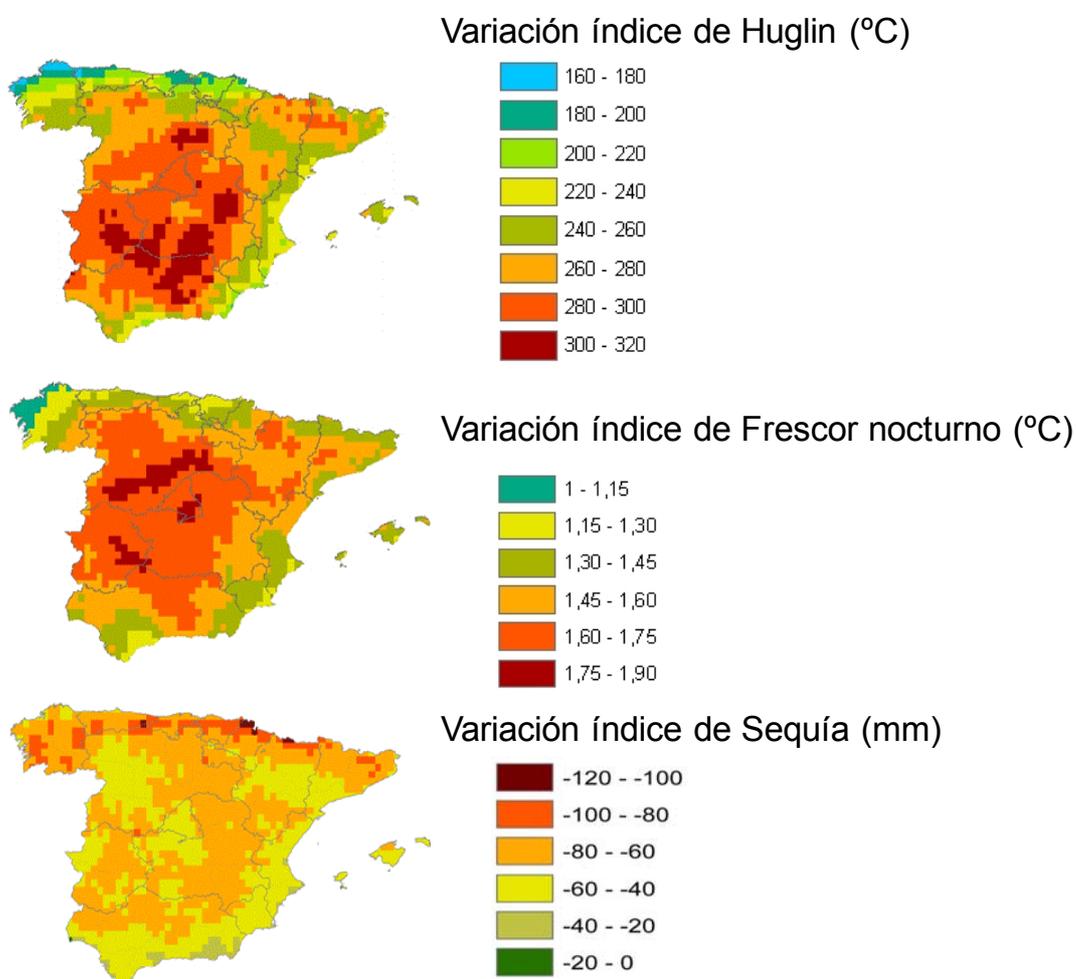
Variable	1971-2000	2021-2050			
		Media			Media
Rioja	33	-25,88282	13,48576	-54,14938	8,831198
Rueda	-53	-109,6405	12,50319	-144,1574	-97,68004
Somontano	-43	-101,5191	18,74834	-157,361	-72,79376
Tarragona	69	15,92246	21,66626	-49,92144	39,13994
Terra Alta	-23	-78,4216	17,99858	-142,2407	-61,31251
Tierra de León	-10	-59,87625	19,63211	-101,1657	-31,52969
Toro	-57	-106,5849	12,49121	-142,6007	-92,01096
Chacolí de Álava	145	62,89749	16,92956	24,25036	95,7018
Chacolí de Bizkaia	258	179,9365	18,99517	142,4256	212,271
Chacolí de Getaria	342	257,8412	24,62839	218,8899	301,8247
Uclés	-89	-151,6768	13,64632	-181,9891	-133,742
Utiel-Requena	-73	-134,6249	14,7261	-174,0509	-117,3148
Valdeorras	67	-1,787035	18,18308	-35,97244	24,93015
Valdepeñas	-121	-183,0343	13,29411	-212,9662	-163,9793
Valencia	-36	-92,37982	14,67453	-139,6023	-78,69885
Yecla	-109	-166,2343	11,67234	-203,2306	-151,6195
Zamora	-41	-94,2638	13,78816	-136,8244	-80,56746

Por último en el caso del índice de Sequía, la desviación estándar se sitúa entre los 10 mm y los 34 mm, destacando por su mayor incertidumbre sobre todo Rías Baixas y después Chacolí de Getaria, Pla de Bages, Priorat, Conca del Barberá y Monterrei, zonas del norte con gran influencia atlántica y del noroeste con gran influencia mediterránea. Las DOP con menor incertidumbre en cuanto a la evolución del índice de Sequía serían las más secas de la mitad sur peninsular como Jumilla, Yecla, Alicante, Métrida o La Mancha.

### 5.9. Variación de los índices y variabilidad de los resultados

Debido a la importancia de los microclimas dentro de cada DOP, es conveniente analizar también cual sería la variación de los resultados entre la situación actual y la que se espera con Cambio Climático y su incertidumbre y no sólo analizar el impacto en base los resultados finales en cada región. La influencia de la evolución de la climatología en la zonificación vitivinícola se puede observar en la Figura 49. El efecto que el Cambio Climático parece indicar que los mayores incrementos de Huglin y de Frescor Nocturno se producirían en las zonas más continentales de la zona centro sur de la Península Ibérica. Este incremento sería menor en aquellas zonas con mayor

influencia mediterránea y menor aún en las de influencia atlántica. En cuanto a la evolución del índice de Sequía, parece que la media de proyecciones indica un incremento de las condiciones más secas en las zonas más continentales de la Península y en la Cornisa Cantábrica.



*Figura 49. Cambios en los valores absolutos de los índices de Huglin, Frescor Nocturno y Sequía en el periodo 1971-2000 y en el periodo de Cambio Climático 2021-2050 con la media de los 19 escenarios*

Para tener una imagen más clara de cuáles pueden ser los efectos del Cambio Climático en la calidad en el cultivo actual del viñedo hay que analizar más en profundidad la incertidumbre asociada a las proyecciones y la magnitud de los cambios provocados por el Cambio Climático.

Para ello se ha realizado un estudio mediante proyecciones probabilísticas de la evolución de cada uno de los índices del sistema global multicriterio obtenidos para cada una de las 56 DOP estudiadas y agrupadas en cuatro grandes regiones. Los resultados se muestran dentro de la Figura 50, donde se pueden apreciar grandes incertidumbres en las predicciones para las regiones vitivinícolas debido a las diferencias entre las proyecciones climáticas. Los resultados de los índices de Huglin y de Frescor Nocturno muestran grandes incertidumbres para todas las DOP ya que las proyecciones oscilan entre diferentes valores de calentamiento, si bien los umbrales son mayores cuando la influencia marítima es menos patente en cualquiera de las zonas. El índice de Sequía muestra mayores discrepancias entre las diferentes zonas, así las DOP más húmedas del norte y noreste (Regiones I y III) muestran un alto grado de incertidumbre si se comparan con las zonas II y IV.

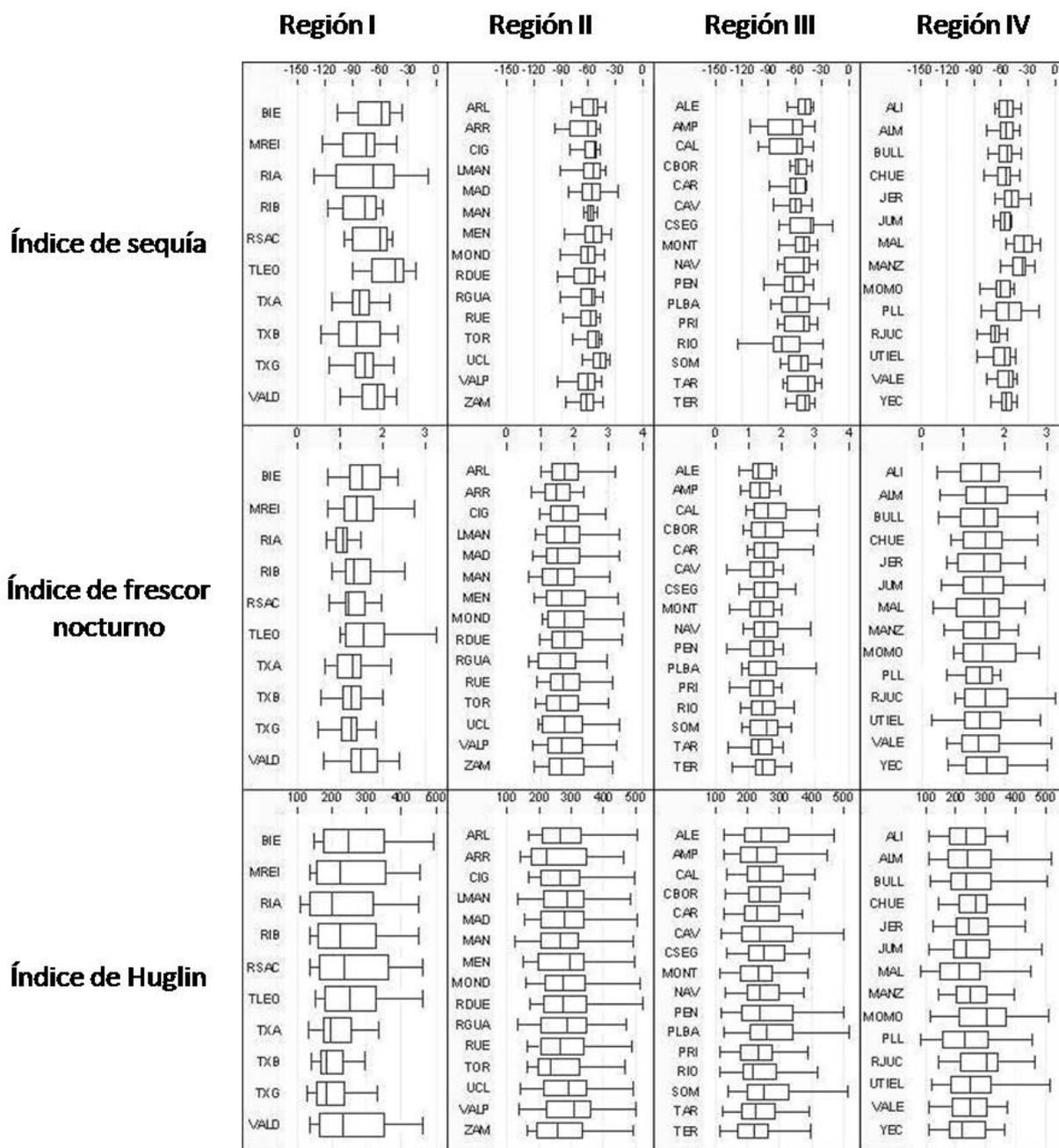


Figura 50. Rango de anomalías de los índices agroclimáticos del viñedo en condiciones de Cambio Climático en el 2021-2050 respecto al clima de control. Derivado del uso de 19 proyecciones climáticas para 56 DOP. El cambio en el valor medio de cada uno de los índices para todas las proyecciones está representado por las cajas de la figura donde se indican el percentil 25, la media y el percentil 75. Las líneas negras se extienden desde el 5 al percentil 95 de las proyecciones

### **5.10. Incertidumbre en el impacto del Cambio Climático en el potencial vitícola.**

Para analizar más en profundidad la incertidumbre de los impactos en cada una de las zonas se han extraído de la Figura 50 tres indicadores: los percentiles 95, 50 y 5. Estos indicadores se han representado de forma gráfica en la Figura 51 para el índice de Huglin, en la Figura 52 para el índice de Frescor Nocturno y en la Figura 53 para el índice de Sequía. Del estudio de estas representaciones gráficas se extrae que las zonas que sufrirían mayores cambios en el valor absoluto de los índices de Huglin y de Frescor Nocturno, suelen ser las mismas para todos los criterios utilizados, que coinciden con las DOP situadas en las zonas más continentales de la meseta. En cuanto al índice de Sequía, es en general las DOP más húmedas, especialmente de la Región I las que experimentarían mayores impactos.

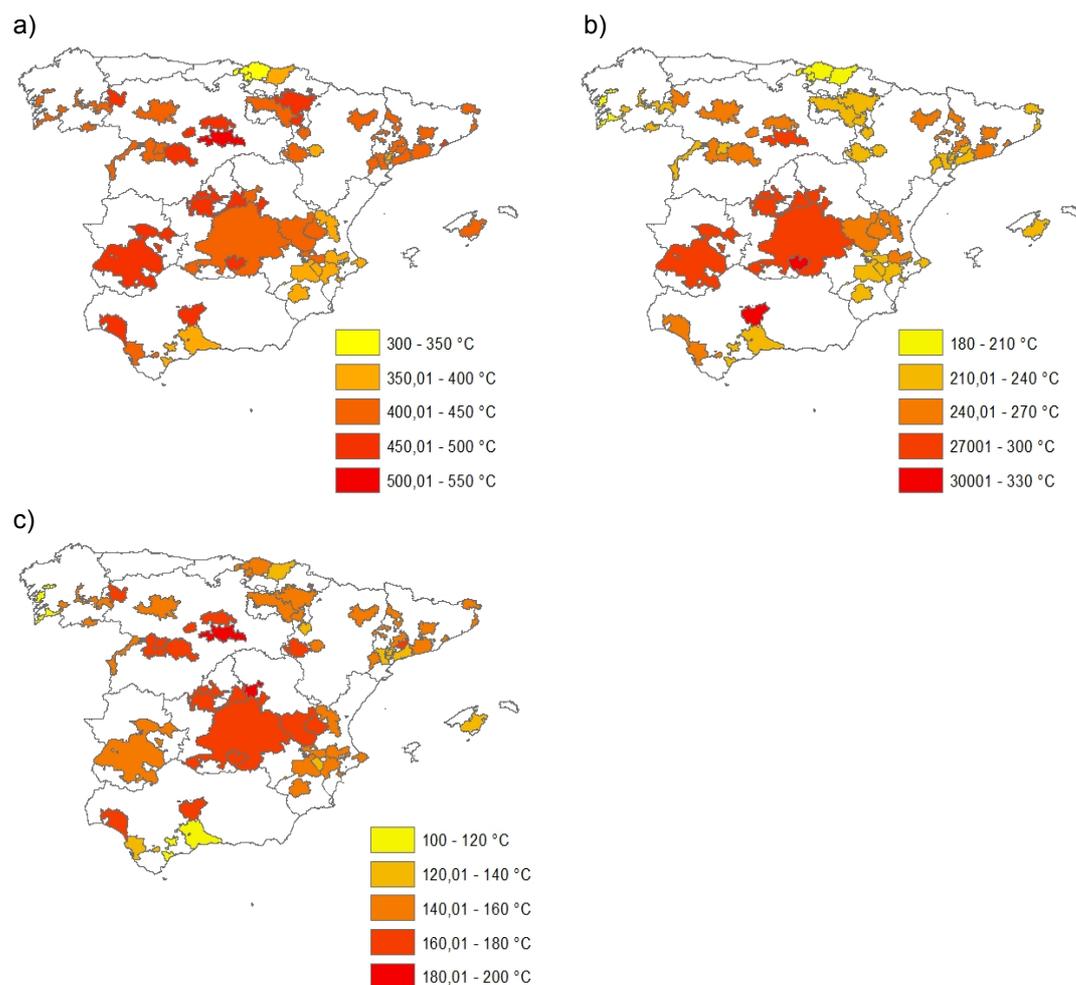


Figura 51. Incremento del índice de Hugin correspondientes percentiles 95 % en a), 50 % en b) y 5 % en c) respectivamente para los 19 escenarios climáticos en las DOP

Otro aspecto importante es el aumento de las diferencias en escenarios más pesimistas entre las distintas DOP, que coinciden con el percentil 95 en el índice de Hugin y Frescor Nocturno y percentil 5 en índice de Sequía, una muestra de una mayor incertidumbre en los escenarios más cálidos y secos.

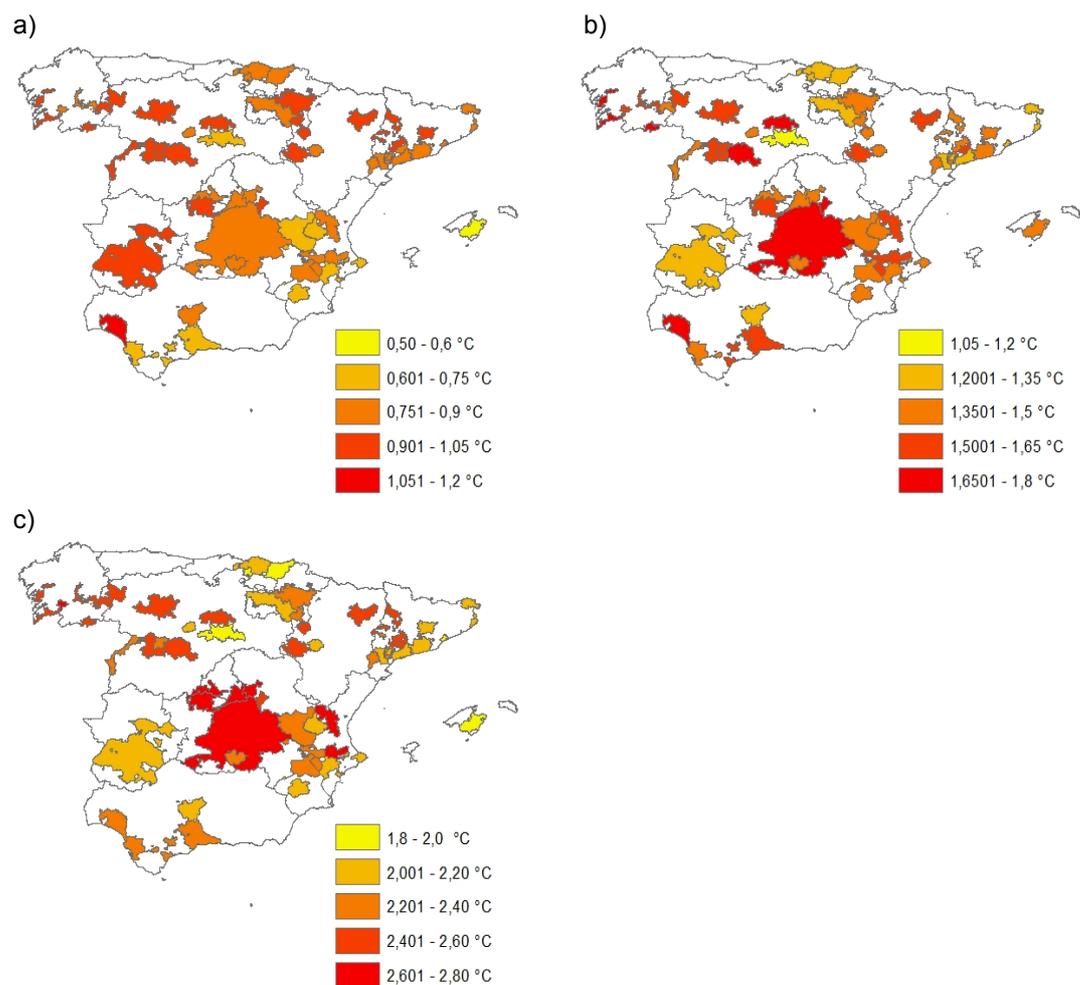


Figura 52. Incremento del índice de Frescor Nocturno correspondientes percentiles 95 % en a), 50 % en b) y 5 % en c) respectivamente para los 19 escenarios climáticos en las DOP

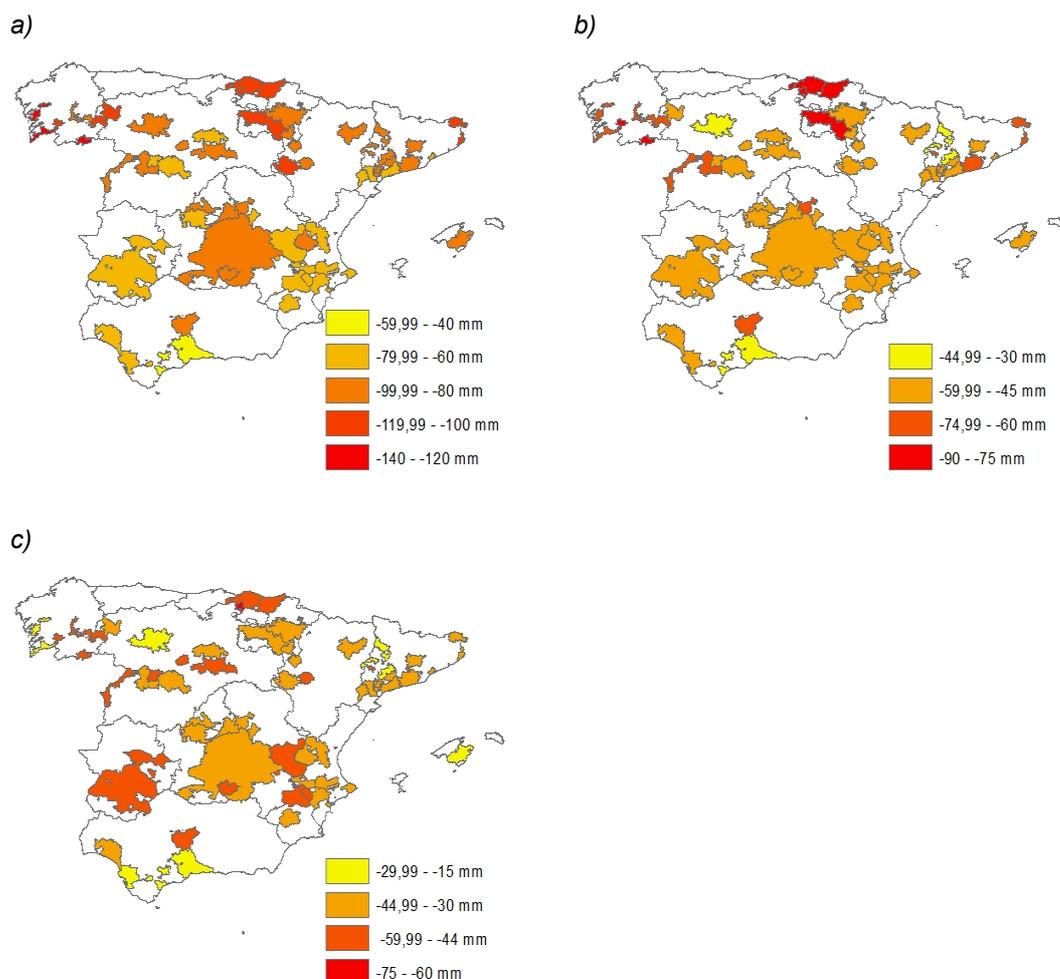


Figura 53. Incremento del índice de Sequía correspondientes percentiles 95 % en a), 50 % en b) y 5 % en c) respectivamente para los 19 escenarios climáticos en las DOP

## 5.11. Conclusiones

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 éstas 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.

## **6. Priorización del esfuerzo de adaptación**

### **6.1. Objetivos y métodos**

El objetivo en este capítulo es conocer los esfuerzos que cada región debería realizar para adaptarse a las nuevas condiciones climáticas de acuerdo con sus propias características, para ayudar a establecer prioridades en el desarrollo de nuevas políticas. Para ello se realiza un análisis de las necesidades de adaptación así como de serie de factores que condicionan la capacidad adoptar distintas herramientas de adaptación.

El análisis de los cambios en la zonificación de acuerdo con la sensibilidad de la viticultura permite medir las necesidades de adaptación en las regiones productoras en España. La metodología desarrollada interpreta los resultados de las variaciones de los principales índices de calidad en la uva de vinificación debidas al Cambio Climático en cada una de las zonas. En base a esta interpretación, se establece una clasificación de las zonas en cuanto a las necesidades de adaptación que deberían realizar para adaptarse a las nuevas condiciones climáticas, teniendo en cuenta también la incertidumbre asociada por medio del uso de diversos escenarios.

Las diferentes estrategias de adaptación se organizan también en tres grupos según su dificultad de implantación, coste y efectividad de acuerdo con la literatura. Por último para medir la vulnerabilidad relativa de las diferentes regiones vitícolas se analiza y compara la capacidad de adaptación actual por CCAA mediante el análisis de distintos índices normalizados que se basan en el porcentaje de la población ocupada agraria mayor de 16 años entre un rango de edad de 50 y 65 años, el porcentaje de la población ocupada agraria mayor de 16 años sin graduado escolar, el valor de la producción de vino en €/ha, el porcentaje de la producción que se exporta y el precio al que se exporta, el porcentaje de la superficie que está asegurada y el porcentaje de la superficie en secano.

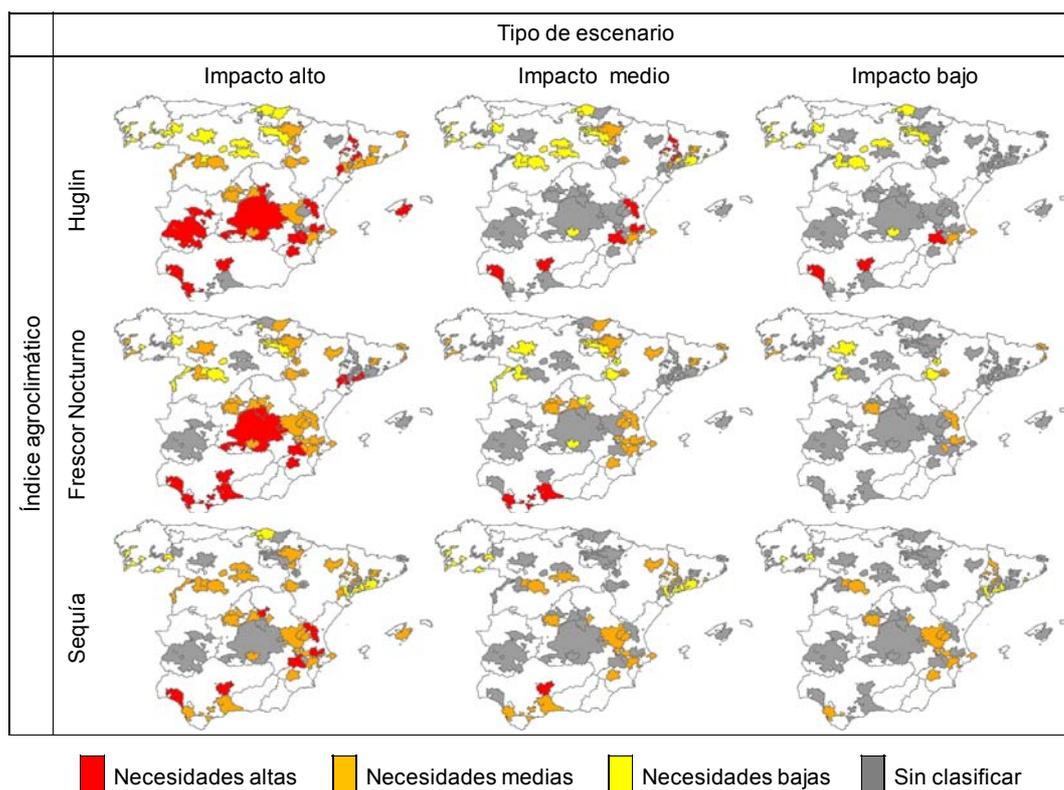
Por último se describe como algunos factores políticos o asociados al Cambio Climático pueden influir en esta capacidad y en la vulnerabilidad.

## **6.2. Priorización de las necesidades de adaptación**

Según la metodología descrita, Cada una de las DOP se pueden clasificar según sus necesidades de adaptación. El resumen de los resultados para tres escenarios seleccionados del periodo 2021-2050 puede apreciarse en la Tabla 24 o de forma más gráfica en la Figura 54. Aunque la lectura de cada índice en cada DOP se haga de forma separada, un análisis más completo tiene que tener en cuenta las interacciones entre los índices. Por ello, a pesar de que en algunos casos no se lleguen a niveles de cambio de clase de clima en alguno de los índices, los resultados pueden llegar a ser más pesimistas al analizar el resultado global. A continuación se describen los resultados alcanzados en cada una de las Regiones:

Tabla 24. Matriz de 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 de las 19 proyecciones. Los niveles se establecen en bajo (amarillo), medio (naranja) y alto (rojo), mientras que cuando no se produce un cambio en la clase de clima no se clasifican

Denominaciones de Origen	Esfuerzos de adaptación necesarios como resultado de los cambios esperados en los valores de los índices								
	Bajo			Medio			Alto		
	Escenario climático de mayor impacto			Escenario medio			Escenario climático de menor impacto		
	Índice de Huglin	Índice de Frescor	Índice de Sequía	Índice de Huglin	Índice de Frescor	Índice de Sequía	Índice de Huglin	Índice de Frescor	Índice de Sequía
Región I	BIE								
	MREI								
	RIA								
	RIB								
	RSAC								
	TLEO								
	TXA								
	TXB								
	TXG								
	VAL								
Región II	ARL								
	ARR								
	CIG								
	LMAN								
	MAD								
	MAN								
	MEN								
	MOND								
	RDUE								
	RGUA								
	RUE								
	TOR								
	UCL								
	VALP								
ZAM									
Región III	ALE								
	AMP								
	CAL								
	CBOR								
	CAR								
	CAV								
	CBAR								
	CSEG								
	MONT								
	NAV								
	PEN								
	PBA								
	PRI								
	RIO*								
	SOM								
	TAR								
TER									
Región IV	ALI								
	ALM								
	BUL								
	CHUE								
	JER								
	JUM								
	MAL								
	MANZ								
	MOMO								
	PLL								
	RJUC								
	UTI								
	VALE								
	YEC								



*Figura 54. 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 de 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*

### 6.2.1. Región I

Según los resultados obtenidos, en general las DOP de esta Región presentan las necesidades más bajas de intervención de todas, no obstante éstas serán mayores en las más interiores (Bierzo, Monterrei, Valdeorras o Tierra de León) que en las más costeras (Rías Baixas o Chacolí). 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.

### **6.2.2. Región II**

La Región II 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 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, Métrida, 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, Métrida, 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.

### **6.2.3. Región III**

La Región III 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.

### **6.2.4. Región IV**

La Región IV 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 Región 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.

### 6.3. Estrategias de adaptación en la viticultura

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 sombreado pueden ayudar a mejorar la protección de los racimos contra 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.

#### **6.4. Capacidad de adaptación y vulnerabilidad**

La capacidad de adaptación, definida como la capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluida la variabilidad climática y los cambios extremos) a fin de moderar los daños potenciales, aprovechar las consecuencias positivas, o soportar las consecuencias negativas (IPPC, 2001), está influenciada por muchos factores humanos, sociales, económicos, naturales o financieros. A la hora de clasificar la capacidad de cada una de las zonas es importante analizar cuál es la situación relativa actual y también prever cómo puede cambiar.

##### ***6.4.1. Clasificación de zonas según su capacidad de adaptación actual***

Para realizar un análisis comparativo entre cada una de las zonas, se han analizado una serie de índices para determinar qué factores pueden condicionar la capacidad de adaptación de cada una de las zonas en relación al conjunto de la viticultura, y que ayudarían a medir la vulnerabilidad relativa de cada una de las zonas vitícolas en España. Los índices relacionados con la edad y nivel educativo de la población, ingresos así como la percepción de la importancia de los riesgos climáticos, se describen a continuación:

*Índice de edad*

El primero de los factores adaptación es el porcentaje de la población ocupada agraria mayor de 16 años entre un rango de edad de 50 y 65 años. Aunque no están desagregados por sectores, se recoge el porcentaje de trabajadores agrarios que puede no sentirse incentivado a tomar medidas a largo plazo porque los plazos de amortización de algunas medidas podrían superar los años que restan a la jubilación (Tabla 25). Por medio de la normalización de los datos se obtiene lo que en el estudio se ha denominado índice de educación, que establece un valor 0 para la CCAA con menor porcentaje de población agraria en ese rango de edad y 1 para el máximo.

*Tabla 25. Índice de edad que recoge el grado aceptación de medidas a largo plazo realizado a partir de los datos de población agraria por edades del INE (2015). La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 0 se asigna a la región con menor porcentaje de población activa agraria en ese rango de edad y 1 a la que tenga mayor porcentaje*

CCAA de residencia	% de población agraria entre 50 y 65 años	Índice de edad (escala 0-1)
Andalucía	24,63 %	0,18
Aragón	34,22 %	0,59
Baleares	29,57 %	0,39
Castilla y León	39,43 %	0,81
Castilla - La Mancha	32,88 %	0,53
Cataluña	31,68 %	0,48
C. Valenciana	29,51 %	0,39
Extremadura	32,31 %	0,51
Galicia	43,74 %	1,00
Madrid	25,35 %	0,21
Murcia	20,57 %	0,00
Navarra	34,97 %	0,62
País Vasco	34,42 %	0,60
La Rioja	35,89 %	0,66

El porcentaje de población agraria en este rango de edad es alto en España, aunque se observan grandes diferencias entre regiones. Aunque los datos no estén desagregados por sectores agrícolas, los resultados indican que los trabajadores agrarios y, por extensión los viticultores, puede ser un colectivo más envejecido en

Galicia y Castilla y León que en el resto, y donde la población de este rango de edad puede superar el 40 %. En el otro extremo están Murcia y Andalucía, regiones especialmente agrarias y que tienen una proporción menor.

#### *Índice de educación*

El índice de educación recoge los datos del porcentaje de la población ocupada agraria mayor de 16 años sin graduado escolar o que no ha llegado al último curso para obtenerlo. Con este índice se pretende identificar la potencial falta de receptividad a la hora de aceptar introducir innovaciones dentro de la explotación (Tabla 26).

*Tabla 26. Índice de educación realizado a partir de los datos de población agraria sin estudios de acuerdo con el INE (2015). La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 0 se asigna a la región con menor porcentaje de población activa agraria sin graduado y 1 a la región con mayor porcentaje*

CCAA de residencia	% de población agraria sin graduado escolar	Índice de educación (escala 0-1)
Andalucía	38,84 %	0,92
Aragón	17,38 %	0,04
Balears	17,02 %	0,02
Castilla y León	22,50 %	0,25
Castilla - La Mancha	32,40 %	0,66
Cataluña	20,46 %	0,16
C. Valenciana	28,29 %	0,49
Extremadura	35,05 %	0,76
Galicia	28,62 %	0,50
Madrid	16,47 %	0,00
Murcia	40,78 %	1,00
Navarra	19,91 %	0,14
País Vasco	20,17 %	0,15
La Rioja	21,81 %	0,22

Los datos observados dan muestra de grandes diferencias entre las regiones, que llegan hasta un 20 %. Se da una división entre CCAA con un sector del vino importante, siendo la mitad sur y Galicia las que muestra resultados por encima de la media, división que se corresponde también con el nivel de renta.

*Índice de exportación*

Este índice recoge el porcentaje de vino producido que es exportado y sirve para conocer la dependencia que existe de mercados exteriores, mucho más competitivos y que por lo tanto puede incrementar las necesidades de adaptación al requerir mayores esfuerzos (Tabla 27).

*Tabla 27. Índice de exportación realizado a partir de los datos de exportaciones de DataComex (2015). La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 0 se asigna a la región con menor porcentaje de exportación del vino producido y 1 a la que tenga mayor porcentaje*

CCAA de residencia	% de vino producido que es exportado (2010-2014)	Índice de dependencia del mercado exterior (escala 0-1)
Andalucía	41 %	0,48
Aragón	47 %	0,57
Baleares	13 %	0,00
Castilla y León	17 %	0,07
Castilla-La Mancha	45 %	0,54
Murcia <sup>1</sup>	49 %	0,61
Cataluña	72 %	1
C. Valenciana	71 %	0,99
Extremadura	56 %	0,74
Galicia	27 %	0,24
Madrid	64 %	0,87
Navarra	40 %	0,45
País Vasco	72 %	1,00
La Rioja	48 %	0,60

Las zonas que muestran una mayor dependencia serían las zonas mediterráneas (Cataluña y Valencia) y País Vasco, que incluye parte de la DOP Rioja. Por el contrario las zonas de Baleares y Castilla y León serían las zonas menos exportadoras en relación a su producción.

*Índice de precios de exportación*

Este índice refleja los incentivos existentes para que la viticultura afronte las herramientas adecuadas de adaptación para competir en los mercados exteriores. A

mayores precios, el productor de uva y el de vino pueden sentirse incentivados en invertir más recursos para conseguir adaptarse más a las demandas del mercado al Cambio Climático.

Entre las CCAA con mejores precios (Tabla 28) destacan por precio Baleares y a mayor distancia Castilla y León, mientras que negativamente destacan Extremadura, Murcia y Castilla-La Mancha, grandes exportadoras de vino a granel.

*Tabla 28. Índice de exportación realizado a partir de los datos de exportaciones de los años 2010-2014 extraídos de DataComex (2015). La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 0 se asigna a la región con mayor precio de exportación del vino y 1 a la región con el menor precio*

	Precio (€/l) 2010-2014	Índice de precio de exportaciones
Andalucía	1,95	0,79
Aragón	1,81	0,81
Baleares	7,65	0,00
Castilla y León	4,16	0,48
Castilla-La Mancha	0,51	0,99
Cataluña	2,30	0,74
Valencia	0,81	0,94
Extremadura	0,40	1,00
Galicia	1,40	0,86
Madrid	2,58	0,70
Murcia	1,07	0,91
Navarra	2,20	0,75
País Vasco	3,50	0,57
La Rioja	3,13	0,62

#### *Índice del valor de la producción*

Este índice (Tabla 29) recoge el valor de la producción de vino en €/ha a partir del valor del vino a precios básicos y de las hectáreas de viñedo para vinificación en cada CCAA. Indica la capacidad económica de la viticultura para hacer frente a las necesidades de adaptación. Los resultados engloban a todos los tipos de vinos dentro de cada CCAA. No obstante existen grandes diferencias incluso dentro de cada una

de ellas, por lo que el resultado de este índice no se puede extrapolar a todos los vinos de cada CCAA.

Para este índice los resultados son más desfavorables para Murcia, seguida de Aragón y Cataluña. Por el contrario, los mejores resultados por hectárea se obtendrían para Baleares, Galicia y País Vasco.

*Tabla 29. Índice del valor del vino obtenido a partir del valores corrientes a precios básicos (Eurostat, 2015) y de la producción del vino (MAGRAMA, 2014). La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 0 se asigna a la región con mayor valor del vino hectárea y 1 a la que menos valor obtiene por hectárea*

	Valor del vino a precios básicos 2010-2011 (millones de €) (1)	Hectáreas 2011 (2)	Valor producción (€/ha (2)/ (1)	Índice del valor del vino
Andalucía	22,88	28.802	1,66	0,70
Aragón	14,89	38.242	0,59	0,94
Castilla y León	80,37	74.097	2,41	0,53
Castilla-La Mancha	555,24	437.072	2,03	0,61
Cataluña	50,29	55.374	1,55	0,72
Madrid	2,92	11.412	0,53	0,95
Navarra	18,82	18.722	1,86	0,65
C. Valenciana	67,86	64.143	1,62	0,71
Extremadura	77,44	81.736	1,33	0,77
Galicia	49,33	24.942	4,73	0,00
Balears	2,87	1.662	4,18	0,13
La Rioja	81,33	44.301	3,56	0,26
País Vasco	34,37	14.211	4,58	0,03
Murcia	5,63	26.709	0,32	1,00

#### *Índice de percepción de riesgos*

Este índice sirve para medir la percepción de los riesgos climáticos en la actualidad. Para su cálculo se usa el porcentaje de la superficie de viñedo en cada CCAA para el que no se contrata ningún tipo de seguro agrario (MAGRAMA, 2014). Estos datos son muy estables en el viñedo y se estiman en torno al 60 % de la superficie total de viñedo, para el cálculo se usa la media 2011-2014 (Tabla 30). Aunque el porcentaje de

aseguramiento depende de los riesgos actuales, supone también un indicador del conocimiento de los instrumentos de gestión de los riesgos agrarios y del nivel de percepción de los riesgos climáticos.

Los resultados de este índice muestran a Madrid, Galicia y Andalucía con porcentajes de aseguramiento menores (y un índice más alto), donde la contratación no llega ni al 10 % de la superficie, mientras que las CCAA con más contratación sería Navarra y Baleares con porcentajes relativamente altos, próximos al 60 %.

*Tabla 30. Índice de percepción de riesgos climáticos, con datos del porcentaje de hectáreas de viñedo sin asegurar. La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 1 se asigna a la región con menor porcentaje de superficie de viñedo asegurada y 0 a la que cuente con mayor porcentaje de superficie asegurada*

	Porcentaje del viñedo sin asegurar (2011-2014)	Índice de percepción de los riesgos climáticos y del conocimiento de herramientas de gestión (escala 0-1)
Andalucía	92 %	0,94
Aragón	61 %	0,34
Baleares	46 %	0,04
C. Valenciana	57 %	0,26
Castilla y León	73 %	0,57
Castilla-La Mancha	55 %	0,23
Cataluña	55 %	0,22
Extremadura	62 %	0,37
Galicia	95 %	0,99
La Rioja	66 %	0,44
Madrid	96 %	1,00
Murcia	66 %	0,44
Navarra	43 %	0,00
País Vasco	73 %	0,58

*Priorización de las zonas en base a los índices de la capacidad de adaptación*

Para poder compara con facilidad los índices técnicos humanos o financieros , en la Tabla 32 se representan todos los índices calculados. Representa las CCAA entre valores de 0 (más capacidad de adaptación) y 1 (menos capacidad de adaptación). Estos índices representan una simplificación de una realidad más compleja pero que

es útil para hacer una primera clasificación de las distintas DOP en función de su potencial de adaptación.

*Tabla 31. Resumen de los índices de los índices de capacidad de adaptación. La escala del índice se establece entre 0 y 1, donde 0 representa el valor más alto en capacidad de adaptación y 1 el menor valor en cuanto a capacidad de adaptación*

CCAA	Índices de capacidad de adaptación					
	Educación	Edad	Exportaciones	Seguros	Valor del vino	Precios exportaciones
Andalucía	0,92	0,18	0,48	0,94	0,83	0,79
Aragón	0,04	0,59	0,57	0,34	0,90	0,81
Baleares	0,02	0,39	0,00	0,04	0,00	0,00
Castilla y León	0,25	0,81	0,07	0,57	0,38	0,48
Castilla-La Mancha	0,66	0,53	0,54	0,23	0,71	0,99
Cataluña	0,16	0,48	1,00	0,22	0,87	0,74
Valencia	0,49	0,39	0,99	0,26	0,67	0,94
Extremadura	0,76	0,51	0,74	0,37	0,78	1,00
Galicia	0,50	1,00	0,24	0,99	0,27	0,86
Madrid	0,00	0,21	0,87	1,00	0,77	0,70
Murcia	1,00	0,00	0,61	0,44	1,00	0,91
Navarra	0,14	0,62	0,45	0,00	0,69	0,75
País Vasco	0,15	0,60	1,00	0,58	0,24	0,57
La Rioja	0,22	0,66	0,60	0,44	0,44	0,62

Según los resultados se puede afirmar que al presentar todas debilidades en alguno de los índices, salvo Baleares, con una gran capacidad relativa de afrontar la adaptación en la actualidad. En el otro extremo se podría resaltar Extremadura, Andalucía, Galicia y Murcia, tres importantes CCAA en viticultura y con una renta per cápita por debajo de la media nacional y con resultados peores que la media aunque por causas diferentes. En Andalucía los bajos niveles en educación y de aseguramiento proporcionan unos resultados relativos peores. Lo mismo sucede con Galicia, donde el envejecimiento y también bajo nivel de aseguramiento perjudican el

la capacidad de adaptación. Por último en Extremadura y Murcia, donde el bajo nivel educativo, la mayor dependencia de las exportaciones, junto con bajos precios de éstas son los factores que más perjudican su resultado final.

#### **6.4.2. Otros factores que pueden influir en la vulnerabilidad**

La capacidad de adaptación actual que presenta el viñedo puede verse afectada por múltiples factores. Estos factores pueden ser medioambientales, financieros y sobre todo políticos.

En primer lugar, el propio regadío puede ser cuestionable por la propia disponibilidad de agua debido a la hidrogeología y a la competencia entre usuarios, y su coste marcado por el precio de la energía así como por las limitaciones impuestas por la propia Directiva Marco del Agua. Estos dos factores determinarán la capacidad del sector vitícola de mantener o extender la superficie de regadío o las dotaciones de agua para el viñedo. El Cambio Climático afectará especialmente a la disponibilidad hídrica en las Cuencas Hidrográficas (CCHH) del Tajo, Guadiana, Guadalquivir, Sur, Segura y Júcar, donde las demandas actuales de la agricultura superan la disponibilidad de agua bajo las proyecciones de cambio climático (González-Zeas et al., 2015). De hecho los recursos de agua actuales están ya sobreutilizados en las CCHH del Sur y Segura, siendo la agricultura el uso prioritario (González-Zeas, 2012).

Para mejorar la capacidad de adaptación, las políticas públicas se deben centrar por un lado en el aumento de los recursos mediante la mejora de la infraestructura existente y la inversión en nuevas infraestructuras para el control del agua. Por otro lado, en la mejora de la gestión de la demanda. Ambas políticas podrían tener una repercusión en el coste del agua por la amortización de las inversiones y por el coste energético, ya que los procesos de modernización de los regadíos disminuyen la cantidad de agua destinada para el riego de las parcelas, pero los costes de operación y mantenimiento del sistema aumentan ya que la energía requerida para bombear el agua a la red de presión es muy superior en comparación con la situación anterior (Rodríguez-Díaz et al., 2011).

Otra herramienta fundamental que podría influir en la capacidad de adaptación serían los recursos financieros públicos puestos a disposición de Administración y agricultores para la cofinanciación de inversiones y determinadas prácticas al amparo del Reglamento de Desarrollo Rural (Reglamento 1305/2013), que es el principal

instrumento de actuación de la PAC para la adaptación al Cambio Climático. El Reglamento incluye aspectos recogidos en el Libro Blanco (COM, 2009) para ayudar en el proceso de adaptación en la agricultura. Estas medidas permitirían mejorar la capacidad de adaptación de la viticultura de diversas formas. A escala nacional y regional las Administraciones Públicas pueden contar con apoyo de estos fondos para abordar las grandes inversiones en infraestructuras como el regadío, pero limitado y sujeto a ahorros de agua (Garrote et al., 2015). También se contempla de forma específica la posibilidad de implantar medidas preventivas y paliativas de las consecuencias negativas de desastres naturales, adversidades climáticas y probables catástrofes.

A escala más local, los Planes Regionales de Desarrollo Rural contemplan cofinanciar medidas de adaptación emprendidas por los agricultores mediante dos instrumentos fundamentales: el apoyo a las inversiones en activos fijos y los programas agroambientales y climáticos. Para ayudar al agricultor a la hora de implantar las medidas de acuerdo con las condiciones locales, el nuevo Reglamento de Desarrollo Rural potencia el papel de servicios de asesoramiento, gestión y sustitución de explotaciones agrarias en el ámbito del Cambio Climático. También potencia los programas de transferencia de conocimientos y difusión de resultados de prácticas piloto o innovaciones. Dentro de una escala local pero por medio de acciones colectivas las ayudas para la cooperación apoya la creación de grupos y redes que realicen acciones conjuntas para mitigar o adaptarse al Cambio Climático. Por último, las Asociaciones Europeas de Innovación (AEI) buscan una mayor cooperación entre la agricultura y la investigación con vistas a incrementar el uso de las tecnologías disponibles por parte de los agricultores. Las AEI apoyan la realización por grupos operativos de proyectos innovadores de investigación aplicada o proyectos piloto. Estas acciones tienen como objeto encontrar soluciones innovadoras y adaptadas a las condiciones locales, a problemas reales de la agricultura. En un paso más, y con el objeto de intentar superar el nivel local, se potencia también el intercambio de experiencias y de buenas prácticas a través de la creación de una Red de AEI.

Por otro lado, los fondos del programa vitivinícola español (Tabla 32) dentro del Reglamento 1308/2013 sobre la OCM de productos agrarios, recogen ayudas de inversiones en bodegas, promoción del vino y el cambio de variedades o formas de cultivo, que podrían mejorar la capacidad de adaptación.

Muchas de las inversiones en adaptación deberán contar con la aprobación de los Consejos Reguladores de las DOP, organismo encargado de regular y normalizar la actuación de los agentes adscritos a ella, así como responsable del cumplimiento efectivo de las mismas, y que limitan por ejemplo las variedades que se pueden cultivar para poder estar dentro de las DOP.

*Tabla 32. Presupuesto en miles de euros para ayudas dentro del Programa de apoyo al sector vitivinícola recogido en el Reglamento 1308/2013 (MAGRAMA, 2014)*

Medida	2015	2016	2017	2018	Total
Promoción en los Mercados de terceros países	50.000	50.000	50.000	50.000	200.000
Reestructuración y reconversión de viñedo	72.532	72.532	72.532	72.532	290.128
Inversiones	56.000	56.000	56.000	56.000	224.000
Destilación de subproductos	31.800	31.800	31.800	31.800	127.200
Total	210.332	210.332	210.332	210.332	841.328

## **6.5. Conclusiones**

Las diferentes condiciones de partida y procesos de Cambio Climático en cada viñedo hacen que los impactos sean diferentes y que por tanto las estrategias de adaptación deban tener en cuenta esta diversidad. De acuerdo con las proyecciones climáticas serían las DOP del sur y del este de la Península las que las que necesitarían realizar los mayores esfuerzos de adaptación con mayores costes para mantener calidad y productividad. Muchas de estas medidas estarían limitadas por condicionantes económicos, sociales o medioambientales, entre los que destaca la disponibilidad de agua para el regadío, una de las principales herramientas de adaptación.

En las DOP de la mitad norte, las herramientas de adaptación se deberían centrar en el mantenimiento de la calidad sobre todo para mejorar las condiciones en la época de maduración. Para ello contarían con menores limitaciones hídricas y un abanico más amplio de variedades aptas. En las DOP de la mitad sur y del arco mediterráneo, las herramientas deberían ir enfocadas también al mantenimiento de la calidad pero también a la productividad en la viticultura. Para ello los esfuerzos deberían ser más intensos, aunque las herramientas pueden estar más limitadas, por ejemplo por el

número de variedades o el riego que podría llegar a ser casi obligatorio en un contexto de mayor competencia y escasez de recursos hídricos.

En cuanto a la capacidad de adaptación en la viticultura, existen numerosos factores que influyen en esta capacidad. La elevada edad de la población en la mitad norte, el bajo nivel educativo en la zona sur, la necesidad de vender en el exterior en mercados mucho más competitivos sobre todo en la zona mediterránea o el bajo precio recibido por el vino en algunas CCAA como Murcia, Aragón o Andalucía perjudican su capacidad de adaptación.

Esta capacidad podría modificarse por factores medioambientales, principalmente hídricos, aunque las inversiones en los últimos años han aumentado el número de hectáreas de viñedo regadas el cambio climático podría disminuir las dotaciones de riego en la mitad sur. Estos efectos podrían atenuarse por medio de inversiones en infraestructuras hidráulicas que aumentasen la disponibilidad de agua junto con medidas que mejorasen la efectividad del agua en el regadío. No obstante algunas de estas medidas podrían tener un efecto en el coste del agua.

El aporte financiero de los Programas de Desarrollo Rural y del Programa de Apoyo al sector vitivinícola, podrían ser una herramienta muy útil para mejorar la capacidad financiera de adaptación. Como novedad dentro de estas herramientas, la investigación de nuevas técnicas y tecnologías que mejoren la resiliencia dentro de la AEI y podría ser uno de los pilares fundamentales de la estrategia de adaptación del viñedo al Cambio Climático.



## **7. Conclusiones**

El descenso del consumo interno en España y la reforma de la OCM de 2007 han obligado al sector vitivinícola a mirar al exterior en búsqueda de nuevos mercados. Cada vez son más importantes las exportaciones a nuevos mercados, donde los vinos españoles tienen que competir con vinos franceses, italianos e incluso con los vinos del nuevo mundo de áreas fuera de Europa, como son los de Chile, Sudáfrica o Australia. Para competir en esos nuevos mercados, donde la cultura del vino es relativamente nueva y donde los vinos españoles son relativamente desconocidos, es muy importante el encontrar un buen equilibrio entre calidad y precio que junto con otras herramientas como la promoción, permitan una mejor penetración dentro de esos mercados.

Dada la dependencia de la viticultura del clima, es necesario analizar la vulnerabilidad al Cambio Climático. Para ello se necesita evaluar el impacto, las necesidades de adaptación y que ayuden a elaborar estrategias adecuadas para mejorar la capacidad de adaptación de la viticultura.

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 medias y extremas, y un descenso de las precipitaciones. Debido a la compleja topografía y situación geográfica, la intensidad de estos cambios y sus efectos no sería homogénea. Por ello, cuando se intenta describir el impacto del Cambio Climático en un cultivo como el viñedo, no se puede hablar de efectos únicos para toda la producción, ni se puede sólo restringir a las tradicionales zonas de producción, ya que estos posibles cambios en el clima también podrían ocasionar la plantación y elaboración de vinos donde antes no era posible por causas climáticas.

### **7.1. Conclusiones generales**

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 tendrían 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 socioeconómicos y medioambientales que pueden condicionar la implantación de las estrategias necesarias. La mayor edad de la población agraria (sobre todo en Galicia o Castilla y León), el bajo nivel educativos de la población agraria (más bajo en la mitad sur y Galicia), el bajo nivel de valor generado por el vino por hectárea (sobre todo en Murcia), la poca presencia de infraestructura de regadío (principalmente en Castilla y León, Cataluña o Extremadura) el menor nivel de percepción del riesgo o de conocimiento de las herramientas para su gestión (Galicia y Andalucía), el bajo nivel de precios de las exportaciones (Castilla-La Mancha, Extremadura, Valencia y Murcia) unido a la alta dependencia de éstas (Valencia y Extremadura) pueden tener importantes consecuencias en la toma de decisiones en los próximos años.

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 un 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.

### **7.2. Aportaciones originales de la Tesis**

A pesar de estas incertidumbres y limitaciones, los pasos conceptuales que se presentan siguen siendo válidos, y útiles para la toma de decisiones en la política a nivel regional. Los resultados obtenidos muestran una imagen cualitativa del esfuerzo de adaptación necesario para la producción de vinos de alta calidad en las DOP en España bajo un completo rango de condiciones climáticas. Para ello se desarrolla una metodología de análisis de diferentes índices agronómicos en cada Denominación de Origen Protegida con el objeto de establecer priorizaciones en base a la capacidad de adaptación de cada una de ellas.

Los resultados alcanzados avanzan el conocimiento de las diferentes estrategias de Cambio Climático para poder ser utilizado en los planes de adaptación regionales al proporcionar una mayor comprensión de las posibles necesidades y limitaciones. Esto

podría ayudar a plantear cambios en el modelo de viticultura, de forma que las nuevas inversiones en el viñedo tengan en cuenta los futuros impactos climáticos.

### **7.3. Futuras líneas de investigación**

Este estudio se basa en una simplificación de la viticultura, del clima futuro, de las opciones de adaptación y de la evaluación de la incertidumbre, y por lo tanto existen algunas limitaciones en los hallazgos que deberían solventarse en futuras líneas de investigación. En primer lugar, y a pesar de la relativamente alta resolución de los 19 MCR usados, la importancia del microclima en la viticultura (van Leeuwen et al., 2004) hace que sea necesario recabar información en una mayor escala que la disponible actualmente. En segundo lugar, a pesar de que la fuerza del análisis agroclimático deriva del reconocimiento de los índices utilizados, la interacción del suelo con el clima y la vid no se considera de manera explícita, aunque define en gran medida la calidad. Por ello es importante tener en cuenta este parámetro para futuras líneas de investigación. En tercer lugar, aunque en la literatura reciente existen modelos de rendimiento (Bindi 1996; Morondi 2011), estos se ven limitados por razones de calidad y de mercado en las DOP. No obstante de cara a estudiar la viabilidad de la producción vino fuera de DOP, es interesante en avanzar en el estudio de la productividad del viñedo con el Cambio Climático, en combinación con las necesidades hídricas.

Por último, los datos necesarios para analizar la capacidad de adaptación son complejos y pueden ser difíciles de obtener para un conjunto de regiones tan heterogéneo. De cara a estudiar de una forma más completa la vulnerabilidad es necesario, desde un enfoque más social, emplear una perspectiva de abajo hacia arriba con un planteamiento de estudio región a región, centrándose en los actores como unidad de análisis. Desde este enfoque podría ser posible proponer un conjunto de medidas de adaptación a nivel local que estén en consonancia con los condicionantes de cada región.

## 8. Bibliografía

- Adger WN, Dessai, S, Goulden, M, Hulme, M, Lorenzoni, I, Nelson, DR, Wreford, A. (2009) Are there social limits to adaptation to climate change?. *Climatic change*, 93(3-4), 335-354
- 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](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](http://agroseguro.es/fileadmin/propietario/Publicaciones/7_4_OTRAS_PUBLICACIONES/agroseguro__2015-05-18__baja.pdf)
- Alcamo J, Döll P, Henrichs T, Kaspar F, Lehner B, Rósch T, Siebert S (2003) Global estimates of water withdrawals and availability under current and future “business-as-usual” conditions. *Hydrological Sciences Journal*, 48(3), 339-348
- Amerine M, Winkler A (1944) Composition and quality musts and wines of California grapes. *Hilgard* 15: 493–673
- 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
- Bergqvist J, Dokoozlian N, Ebisuda N (2001) Sunlight exposure and temperature effects on berry growth and composition of Cabernet Sauvignon and Grenache in the Central San Joaquin Valley of California. *American Journal of Enology and Viticulture*, 52(1), 1-7
- Bindi M, Fibbi L, Gozzini B, Orlandini S, Miglietta F (1996) Modelling the impact of future climate scenarios on yield and yield variability on grapevine. *Climate Research*, 7, 213-224
- Bindi M, Fibbi L, Miglietta F (2001a) Free Air CO<sub>2</sub> Enrichment (FACE) of grapevine (*Vitis vinifera* L.): II. Growth and quality of grape and wine in response to elevated CO<sub>2</sub> concentrations. *European Journal of Agronomy*, 14(2), 145-155
- Bindi M, Fibbi L, Lanini M, Miglietta F (2001b) Free air CO<sub>2</sub> enrichment (FACE) of grapevine (*Vitis vinifera* L.): I. Development and testing of the system for CO<sub>2</sub> enrichment. *European Journal of Agronomy*, 14(2), 135-143

- Blanco-Ward D, Queijeiro JG, Jones GV (2015) Spatial climate variability and viticulture in the Miño River Valley of Spain. *VITIS-Journal of Grapevine Research*, 46(2), 63
- Bois B, van Leeuwen C, Pieri P, Gaudillère J, Saur E, Joly D, ..., Grimal D (2008) Viticultural agroclimatic cartography and zoning at mesoscale level using terrain information, remotely sensed data and weather station measurements. Case study of Bordeaux winegrowing area. VIIème Congrès International des Terroirs viticoles. Nyons (Switzerland)
- Bruinsma J (2003) World agriculture: towards 2015/2030. An FAO perspective. Earthscan Publications Ltd
- 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 d'irrigation*. Lavoisier, Paris, 257-276
- Carbonneau A (2003) Ecophysiologie de la vigne et terroir. In: Fregoni (ed), *Terroir, Zonazione Viticoltura*, Phytoline, Piacenza, Italy
- Castillo JS, Compés R, García JM (2014) La regulación vitivinícola. Evolución en la UE y España y situación en el panorama internacional. JS Castillo, JS and R. Compés (eds.), *Economía del vino en España y el mundo*, Cajamar Caja Rural: Almería, 271-310
- 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.
- Challinor AJ, Ewert F, Arnold S, Simelton E, Fraser E (2009) Crops and climate change: progress, trends, and challenges in simulating impacts and informing adaptation. *Journal of experimental botany*, 60(10), 2775-2789
- Chico D, Garrido A (2012) Overview of the extended water footprint in Spain: The importance of agricultural water consumption in the Spanish economy. *Water, Agriculture and the Environment in Spain: can we square the circle?*, 75
- 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
- Ciscar JC, Iglesias A, Feyen L, Szabó L, Van Regemorter D, Amelung B,..., Soria A. (2011) Physical and economic consequences of climate change in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 2678-2683
- 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* L. Cv. Grenache noir, Cotes du Rhone, France, 2000) *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 40(4), 177
- COM (2009) Comisión Europea. Papel Blanco. Adaptación al Cambio Climático: Hacia un marco europeo de actuación. COM(2009)147 final
- COM (2012) Comisión Europea. Informe de la comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre la experiencia adquirida en la aplicación de la reforma vitivinícola de 2008. COM (2012) 737 final
- Christensen JH, Christensen OB (2007) A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic Change*, 81(1), 7-30
- Christensen JH, Boberg F, Christensen OB, Lucas-Picher P (2008) On the need for bias correction of regional climate change projections of temperature and precipitation. *Geophysical Research Letters*, 35(20)
- DataComex (2015) Base de datos de comercio del Ministerio de Economía y Competitividad. [sitio web]. Madrid: MINECO. [última consulta: 1 de mayo 2015]. Disponible en: <http://DataComex.comercio.es/>
- Déqué M (2007) Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values. *Global and Planetary Change*, 57(1), 16-26
- De Orduna RM (2010) Climate change associated effects on grape and wine quality and production. *Food Research International*, 43(7), 1844-1855
- Daugherty MP, Bosco D, Almeida RPP (2009) Temperature mediates vector transmission efficiency: Inoculum supply and plant infection dynamics. *Annals of Applied Biology*, 155, 361–369
- Diaz-Nieto J, Wilby RL (2005) A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impacts on low flows in the River Thames, United Kingdom. *Climatic Change*, 69(2-3), 245-268

- Dismukes R, Bird JL, Linse F (2004) Risk Management Tools in Europe: Agricultural Insurance, Futures, and Options. US-EU Food and Agriculture Comparisons/ WRS-04-04. Economic Research Service, USDA
- 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
- Döll P, Siebert S (2002) Global modeling of irrigation water requirements. *Water Resources Research*, 38(4), 8-1
- Dumas V, Lebon E, Morlat R (1997) Différenciations mésoclimatiques au sein du vignoble alsacien. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 31 (1), 1-9
- Dumont A, Novo Nuñez P, Willaarts B, López-Gunn E (2011) The Extended Water Footprint and illegal groundwater use in the Upper Guadiana Basin (Spain)
- Duteau J, Guilloux M, Seguin G (1981) Influence des facteurs naturels sur la maturation du raisin, en 1979, a Pomerol et Saint-Emilion [France, Bordelais; alimentation en eau, variations mesoclimatiques]. *Connaissance de la Vigne et du Vin*
- EEA (2008) European Environment Agency. Impacts of Europe's changing climate 2008 indicator-based assessment. Joint EEA-JRC-WHO report, Copenhagen.
- Eurostat (2015). Comisión Europea. [sitio web]. Luxemburgo: Oficina estadística de la Unión Europea. [última consulta: 1 de mayo 2015]. Disponible en: <http://ec.europa.eu/Eurostat>
- 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](http://aplicaciones.magrama.es/documentos_pwe/noticias/boletin_51.pdf)
- FAO (2011) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Ahorrar para crecer: guía para los responsables de las políticas de intensificación sostenible de la producción agrícola en pequeña escala. Roma (Italia). FAO. 102 pp
- 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)

- Fernández E (2012) Especialización en baja calidad: España y el mercado internacional del vino, 1950-1990. *Historia agraria: Revista de Agricultura e Historia Rural*, (56), 41-76
- Fernández J, Fita L, García-Díez M, Montávez JP, Jiménez-Guerrero P, Domínguez M, Gaertner MÁ (2012) Escenarios-PNACC 2012: Resultados de regionalización dinámica. En Rodríguez C. et al. (Eds), *Cambio climático. Extremos e impactos*. Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 8, 291-300. ISBN: 978-84-695-4331-3
- Fernández E, Pinilla V (2014) *Historia Económica del vino en España (1850-2000)* JS Castillo, JS and R. Compés (eds.), *Economía del vino en España y el mundo*, Cajamar Caja Rural: Almería, 62-92
- 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 Velthuisen 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)
- Fornés JM, de la Hera Á, Llamas MR (2005) The silent revolution in groundwater intensive use and its influence in Spain. *Water Policy*, 7(3), 253-268
- Fraga H, Malheiro AC, Moutinho-Pereira J, Jones GV, Alves F, Pinto JG, Santos JA (2014) Very high resolution bioclimatic zoning of Portuguese wine regions: present and future scenarios. *Regional Environmental Change*, 14(1), 295-306
- Fregoni C, Pezzutto S (2000) Principes et premières approches de l'indice bioclimatique de qualité de Fregoni. *Le Progrès Agricole et Viticole*, 117, 390-396
- 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
- Gaertner MÁ, Gutiérrez JM, Castro M (2012) Escenarios regionales de cambio climático. *Revista Española de Física*, 26(2), 34-42
- 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, Martín-Carrasco F (2015) Quantitative assessment of climate change vulnerability of irrigation demands in Mediterranean Europe. *Water Resources Management*, 29(2), 325-338

- Giorgi F, Mearns LO (1991) Approaches to the simulation of regional climate change: a review. *Reviews of Geophysics*, 29(2), 191-216
- Giorgi F (2006) Climate change hot-spots. *Geophysical Research Letters*, 33(8)
- 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 CO<sub>2</sub> 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
- Gonzalez Zeas DP (2012) Impacto del cambio climático sobre los usos del agua en Europa (Doctoral dissertation, Caminos)
- 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
- González-Zeas D, Garrote L, Iglesias A, Granados A, Chávez-Jiménez A. (2015) Hydrologic Determinants of Climate Change Impacts on Regulated Water Resources Systems. *Water Resources Management*, 1-15
- Gutiérrez JM, Ribalaygua J, Llasat C, Romero R, Abaurrea J, Rodríguez-Camino E (2012) Escenarios-PNACC 2012: Descripción y análisis de los resultados de regionalización estadística. En Rodríguez C. et al. (Eds), Cambio climático. Extremos e impactos. Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 8, 291-300. ISBN: 978-84-695-4331-3
- Hardaker JB, Huirne RB, Anderson JR, Lien G (2004) Coping with risk in agriculture (No. Ed. 2) CABI publishing
- Hay LE, Wilby RL, Leavesley GH (2000) A comparison of delta change and downscaled GCM scenarios for three mountainous basins in the United States *Journal of the American Water Resources Association*, 36(2) 387–397
- Hayhoe K, Wake C, Anderson B, Liang XZ, Maure, E, Zhu J, Wuebbles D (2008) Regional climate change projections for the Northeast USA. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 13(5-6), 425-436
- Herrera S, Fita L, Fernández J, Gutiérrez JM (2010) Evaluation of the mean and extreme precipitation regimes from the ENSEMBLES regional climate multimodel simulations over Spain. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012), 115(D21)

- Herrera S, Gutiérrez JM, Ancell R, Pons MR, Frías MD, Fernández J (2012) Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02) *International Journal of Climatology*, 32(1), 74-85
- Hertel TW, Burke MB, Lobell DB (2010) The poverty implications of climate-induced crop yield changes by 2030. *Global Environmental Change*, 20(4), 577-585
- Hidalgo L (1999) *Tratado de Viticultura General* (Mundi-Prensa: Madrid, Spain)
- Hoddle MS (2004) The potential adventive geographic range of glassy-winged sharpshooter, *Homalodisca coagulata* and the grape pathogen *Xylella fastidiosa*: Implications for California and other grape growing regions of the world. *Crop Protection*, 23, 691-699
- Holtz G, Pahl-Wostl C (2012) An agent-based model of groundwater over-exploitation in the Upper Guadiana, Spain. *Reg Environ Change*, 12(1), 95-121
- Huglin P (1978) Nouveau mode d'évaluation des possibilités héliothermiques d'un milieu viticole. *Comptes Rendus de l'Académie de l'Agriculture de France* 64, 1117-1126
- Iglesias A, Moneo M, Garrote L, Flores F (2006) Drought and water scarcity: current and future vulnerability and risk. In: Garrido A, Llamas MR eds. *Water policy in Spain, resources for the future*. USA, Washington DC
- 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, Mougou R, Moneo M, Quiroga S (2011b) Towards adaptation of agriculture to climate change in the Mediterranean. *Regional Environmental Change*, 11(1), 159-166
- 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
- INE (2014) Instituto Nacional de Estadística. [sitio web]. Madrid: INE. [última consulta: 1 de abril 2015]. Disponible en: <http://www.ine.es/>

- IPCC (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
- Jacquet A, Morlat R (1997) Caractérisation de la variabilité climatique des terroirs viticoles en val de Loire. Influence du paysage et des facteurs physiques du milieu. *Agronomie*, 17: 465-480
- Jackson DI, Lombard PB (1993) Environmental and management practices affecting grape composition and wine quality-a review. *American Journal of Enology and Viticulture*, 44(4), 409-430
- Jerez S, Montavez JP, Jimenez-Guerrero P, Gomez-Navarro JJ, Lorente-Plazas R, Zorita E (2013) A multi-physics ensemble of present-day climate regional simulations over the Iberian Peninsula. *Climate dynamics*,40(11-12), 3023-3046
- 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 Phoenol*, 42, 3-7
- Jones GV, White MA, Coope, OR, Storchmann K (2005) Climate change and global wine quality. *Climatic change*, 73(3), 319-343
- Jones GV (2007) Climate change and the global wine industry. In Proceedings of the 13<sup>th</sup> Annual Australian Wine Industry Technical Conference, Adelaide.



agrarios: situación actual y tendencias a corto y medio plazo. Entidad Estatal de Seguros Agrarios (ENESA)

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

Lobell DB, Burke MB. (2010) On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(11), 1443-1452

Lobell DB, Schlenker W, Costa-Roberts J (2011) Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, 333(6042), 616-620

López-Gunn E, Cabrera E, Custodio E, Huertas R, Villarroya F (2012a) Institutional reform in Spain to address water challenges. *Water, agriculture and the environment in Spain: can we square the circle*, 45-63

López-Gunn E, Mayor B, Dumont A. (2012b) Implications of the modernization of irrigation systems. *Water, agriculture and the environment in Spain: can we square the circle*, 241

MAGRAMA (2015) Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio ambiente. [sitio web]. Madrid: MAGRAMA. [última consulta: 1 de abril 2015]. Disponible en: <http://www.magrama.gob.es/>

Malheiro, A. C, Santos, J. A, Fraga, H, Pinto, J. G. (2010) Climate change scenarios applied to viticultural zoning in Europe. *Climate Research*, 43(3), 163-177.

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.

Martensson A (2007) Need for protective measures to combat potential outbreaks of *Homalodisca coagulata* and Pierce's disease in European viticulture. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B – Soil and Plant Science*, 57, 1–9

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

- Matthews MA, Anderson MM (1988) Fruit ripening in *Vitis vinifera* L.: responses to seasonal water deficits. *American Journal of Enology and Viticulture*, 39(4), 313-320
- Mearns LO, Rosenzweig C, Goldberg R (1997) Mean and variance change in climate scenarios: methods, agricultural applications, and measures of uncertainty. *Climatic Change*, 35(4), 367-396
- Mendelsohn R, Nordhaus WD, Shaw D (1994) The impact of global warming on agriculture: a Ricardian analysis. *The American economic review*, 753-771
- Meehl GA, Stocker TF, Collins WD, Friedlingstein P, Gaye, AT, Gregory JM, Zhao ZC (2007) Global climate projections. *Climate Change*, 283
- Mérouge I, Seguin G, Arrouays D. (1998) Les sols et l'alimentation hydrique de la vigne à Pomerol: II-état hydrique et croissance de la vigne en 1995. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 32(2), 59-68
- 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<sub>2</sub>. *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
- Nelson DR, Adger WN, Brown K (2007) Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework. *Annual review of Environment and Resources*, 32(1), 395

- 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
- Nikulin G, Kjellström E, Hansson ULF, Strandberg G, Ullerstig A (2011) Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations. *Tellus A*, 63(1), 41-55
- OEEC (2006) Oficina Española de Cambio Climático. Plan Nacional de Adaptación <http://www.lamoncloa.gob.es/espana/eh15/medioambiente/Documents/PNACC.pdf>
- OEMV (2015) Observatorio Español del Mercado del Vino. [sitio web]. Madrid: OEMV. [Última consulta: 1 de abril 2015]. Disponible en: <http://www.oemv.es/>
- OIV (2015) Organización Internacional de la viña y el Vino. [sitio web]. Paris: OIV. [Última consulta: 1 de abril 2015]. Disponible en: <http://www.oiv.int>
- ONU (2004) Organización de las Naciones Unidas. Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, Geneva, Switzerland
- Ortega JF, Tarjuelo JM, de Juan JA (2002). Evaluation of irrigation performance in localized irrigation systems of semiarid regions (Castilla-La Mancha, Spain) *CIGR-Journal Agricultural Engineering International IV*, Paper 2, 14-31
- 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
- Parra CS, Aguirreolea J, Sánchez-Díaz M, Irigoyen JJ, Morales F (2010) Effects of climate change scenarios on Tempranillo grapevine (*Vitis vinifera* L.) ripening: response to a combination of elevated CO<sub>2</sub> and temperature, and moderate drought. *Plant and soil*, 337(1-2), 179-191
- Parry ML, Rosenzweig C, Iglesias A, Livermore M, Fischer G (2004) Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14(1), 53-67
- Pinilla V, Ayuda MI (2002) The political economy of the wine trade: Spanish exports and the international market, 1890–1935. *European Review of Economic History*, 6(01), 51-85
- Pulpón ÁRR (2010) Evolución y consolidación del viñedo de regadío en La Mancha. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (52), 5-26

- Pulpón ÁRR (2013) El viñedo en espaldera: nueva realidad en los paisajes vitivinícolas de Castilla-La Mancha. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, (63), 249-270
- Quiroga S, Iglesias A (2009) A comparison of the climate risks of cereal, citrus, grapevine and olive production in Spain. *Agricultural Systems*, 101(1), 91-100.
- Ramos MC, Jones GV, Martínez-Casasnovas JA (2008) Structure and trends in climate parameters affecting winegrape production in northeast Spain. *Climate Research*, 38, 1-15
- Rannekleiv S (2014) La Mancha in the middle. Spain's pivotal role in the future of the EU wine sector: Market Study. Rabobank International
- Rejda GE (2005) Principles of risk management and insurance. Pearson Education India
- 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
- Riou C, Becker N, Sotes Ruiz V, Gomez-Miguel V, Carbonneau A, Panagiotou M, (1994) Le déterminisme climatique de la maturation du raisin: application au zonage de la teneur en sucre dans la communauté européenne. Luxembourg: Office des Publications Officielles des Communautés Européennes
- Rodríguez-Díaz JA, Pérez-Urrestarazu L, Camacho-Poyato E, Montesinos P (2011) The paradox of irrigation scheme modernization: more efficient water use linked to higher energy demand. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 9(4), 1000-1008
- 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
- Rummukainen M (2010) State-of-the-art with Regional Climate Models. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(1), 82-96

- Salinari F, Giosue S, Francesco NT, Rettori A, Rossi V, Spanna F, Rosenzweig C, Gullino ML, (2006) Downy mildew (*Plasmopara viticola*) epidemics on grapevine under climate change. *Global Change Biol.* 12, 1299–1307
- 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
- Seo SN, Mendelsohn R (2008) An analysis of crop choice: Adapting to climate change in South American farms. *Ecological Economics*, 67(1), 109-116
- Schultz H (2000) Climate change and viticulture: A European perspective on climatology, carbon dioxide and UV-B effects. *Australian Journal of grape and wine research*, 6(1), 2-12
- Seguin G (1983) Influence des terroirs viticoles sur la constitution et la qualite des vendanges [sol, pedologie, geologie, alimentation en eau]. *Bulletin de l'OIV*
- Seguin B, de Cortazar IG (2005) Climate warming: consequences for viticulture and the notion of terroirs in Europe. *Acta Horticulturae*, 689(1), 61-69.
- Simos C (2008) The implications of smoke taint and management practices. *Australian viticulture*, 12(1), 77-80
- Singleton VL, Esau P. (1968) Phenolic substances in grapes and wine, and their significance. *Advances in food research. Supplement*, 1, 1-261
- Smit B, Wande, J. (2006) Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 282-292
- Solomon, S. (Ed.) (2007) *Climate change 2007-the physical science basis: Working group I contribution to the fourth assessment report of the IPCC (Vol. 4)* Cambridge University Press.
- Sotés V. (2004) Comportamiento fisiológico de la vid en climas cálidos y en particular durante el período de maduración de la uva. In 1° Workshop Internacional de Pesquisa: A Produção de Vinhos em Regiões Tropicais
- Sotés V. (2011) Advances in grape culture worldwide. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 33(spe1), 131-143
- Stern NH (2007) *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge University press

- 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
- Tomana T, Utsunomiya N, Kataoka I (1979) Effect of environmental temperatures on fruit ripening on the tree. II. The effect of temperatures around whole vines and clusters on the coloration of Kyoho grapes. *Engei Gakkai zasshi. Journal of the Japanese Society for Horticultural Science*
- Tonietto J, Carbonneau A (1998) Facteurs mésoclimatiques de la typicité du raisin de table de I.A.O.C. Muscat du Ventoux dans le département du Vaucluse, France. *Progres Agricole et Viticole*, 115 (12): 271-279
- 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*
- Tregouat O, Van Leeuwen C, Choné X, Gaudillère JP (2002) Etude du régime hydrique et de la nutrition azotée de la vigne par des indicateurs physiologiques. Influence sur le comportement de la vigne et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* L. cv Merlot, 2000, Bordeaux) *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 36(3), 133-142
- Trewin BC (2007) Función de las normales climatológicas en un clima cambiante. Programa mundial de datos y vigilancia del clima. Documento WCDMP, (61)
- TCE (2012) Tribunal de Cuentas Europeo. Reforma de la Organización Común del Mercado vitivinícola: avances logrados. Informe Especial N°7
- Unwin PTH (1991) *Wine and the vine: an historical geography of viticulture and the wine trade*. Psychology Press
- Vallesi M, Howell G. (2007) The Ashes we didnt want: smoke taint in vintage 2007. *Australian and New Zealand grapegrower and winemaker*, (520), 66-67
- 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, Seguin G. (1994) Incidences de l'alimentation en eau de la vigne, appréciée par létat hydrique du feuillage, sur le développement de l'appareil végétatif et la maturation du raisin (*Vitis vinifera* variété Cabernet franc, Saint-Emilion, 1990) *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin*, 31 (1), 1-9, 28(2), 81-110

- 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
- Van Leeuwen C, Schultz HR, de Cortazar-Atauri IG, Duchêne E, Ollat N, Pieri P, ..., Delrot S (2013) Why climate change will not dramatically decrease viticultural suitability in main wine-producing areas by 2050. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(33), E3051-E3052
- Webb LB (2006) *The Impact of Projected Greenhouse Gas-Induced Climate Change on the Australian Wine Industry*, Department of Agriculture and Food Systems. University of Melbourne, Melbourne, Australia, p. 277
- 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
- White MA, Diffenbaugh NS, Jones GV, Pal JS, Giorgi F (2006) Extreme heat reduces and shifts United States premium wine production in the 21st century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(30), 11217-11222
- Winkler AJ, Cook JA, Kliewere WM, Lider LA (1974) *General Viticulture* (4th ed.) Berkeley: University of California Press
- Zahn M, von Storch H (2010) Decreased frequency of North Atlantic polar lows associated with future climate warming. *Nature*, 467(7313), 309-312

## Anejos

### Anejo 1. Cálculo de la evapotranspiración

Para el cálculo de la evapotranspiración de referencia se ha usado la ecuación de FAO Penman-Monteith que se recomienda como el único método estándar para la definición y el cálculo. Este método para calcular la evapotranspiración parte de datos meteorológicos y requieren de varios parámetros climatológicos y físicos. Algunos de estos parámetros se miden directamente en estaciones meteorológicas. Por ejemplo, para llevar adelante cálculos de ETo, además de la localización del sitio, la ecuación FAO Penman-Monteith requiere datos de temperatura del aire, humedad atmosférica, radiación y velocidad del viento, datos que nos proporcionan los modelos climáticos del proyecto ESCENA, salvo la radiación, que como otros parámetros se relaciona con los datos comúnmente medidos y se pueden derivar con la ayuda de relaciones directas o empíricas.

Ecuación de FAO Penman-Monteith

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 u_2)}$$

Donde:

ET <sub>0</sub>	Evapotranspiración de referencia (mm día-1)
T	Temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
G	Flujo del calor de suelo (MJ m-2 día-1)
u <sub>2</sub>	Velocidad del viento a 2 m de altura (m s-1)
e <sub>s</sub>	Presión de vapor de saturación (kPa)
e <sub>a</sub>	Presión real de vapor (kPa)
e <sub>s</sub> - e <sub>a</sub>	Déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	Pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C-1)
γ	Constante psicrométrica (kPa °C-1)
R <sub>n</sub>	Radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m-2 día-1)

Para aquellos modelos con los que no se ha podido contar con datos meteorológicos de radiación solar, humedad relativa o velocidad del viento, para facilitar el cálculo se ha usado la ecuación de Hargreaves:

$$ET_0 = 0,0023(T_{media} + 17,8)(T_{max} - T_{min})^{0,5} R_a$$

Aunque esta ecuación tiene una tendencia a subestimar los valores de ETo bajo condiciones de viento fuerte ( $u_2 > 3 \text{ m s}^{-1}$ ) y a sobreestimar la ETo bajo condiciones de elevada humedad relativa.

A continuación se detallan todas las variables

### *Temperatura*

El calor sensible del aire circundante transfiere energía al cultivo y entonces ejerce un cierto control en la tasa de evapotranspiración. En un día soleado y cálido, la pérdida de agua por evapotranspiración será mayor que en un día nublado y fresco.

Para la aplicación de la fórmula FAO Penman-Monteith, se requiere información de temperatura diaria (promedio) máxima y mínima en grados centígrados ( $^{\circ}\text{C}$ ). En los casos en que solamente se tenga disponibilidad de temperaturas medias diarias, el cálculo de ETo todavía es válido pero se podría esperar una cierta subestimación de ETo debido a la relación.

Los resultados de los modelos nos dan las medias mensuales para cada uno de los meses de las temperaturas máximas y mínimas, con las que se calcula la media mensual. Estas temperaturas se extrapolan para todos los días del mes.

### *Flujo del calor del suelo (G)*

Se cuenta con diversos modelos complejos para describir flujo del calor del suelo, aunque para períodos mensuales, si se asume una capacidad calorífica constante del suelo de  $2,1 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  y una profundidad media de suelo, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$G_{\text{mes}} = 0,14(T_{\text{mes}} - T_{\text{mes}-1})$$

Donde

G	Flujo del calor del suelo $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$
$T_{\text{mes}, i-1}$	Temperatura media del aire en el mes $i-1$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]
$T_{\text{mes}, i+1}$	Temperatura media del aire en el mes $i+1$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]

*Velocidad del viento ( $u_2$ )*

La velocidad del viento a diversas alturas sobre la superficie del suelo tiene valores diferentes. La fricción superficial tiende a reducir la velocidad del viento que atraviesa la superficie. La velocidad del viento es menor cerca de la superficie y aumenta con altura. Por esta razón los anemómetros se colocan en una altura estándar elegida, 10 m en meteorología y 2 o 3 m en agrometeorología.

Para el cálculo de la evapotranspiración, se requiere la velocidad del viento medida a 2 m sobre la superficie, mientras que los datos proporcionados por los modelos son a una altura de 10 m. Para ajustar los datos de velocidad del viento obtenido de instrumentos situados a elevaciones diferentes a la altura estándar de 2 m, se puede usar una relación logarítmica

$$u_2 = u_z \frac{4,87}{\ln(67,8 z - 5,47)}$$

Donde:

- $u_2$  Velocidad del viento a 2 m sobre la superficie [m s<sup>-1</sup>]
- $u_z$  Velocidad del viento medida a z m sobre la superficie [m s<sup>-1</sup>]
- z Altura de medición sobre la superficie [m]

*Presión media de vapor de la saturación ( $e_s$ )*

La presión de saturación de vapor puede ser calculada en función de la temperatura del aire, pues depende de ella. La relación entre ambas variables se expresa como:

$$e^{\circ}(T) = 0,6108 * \exp \left[ \frac{17,27 * T}{T + 237,3} \right]$$

Donde:

- $e^{\circ}(T)$  Presión de saturación de vapor a la temperatura del aire, T [kPa]
- T Temperatura del aire [°C]
- exp [..] 2,7183 (base del logaritmo natural) elevado a la potencia [..]

La presión media de saturación de vapor para un día, semana, década o mes, debe ser calculada como el promedio de la presión de saturación de vapor a la temperatura máxima media y la presión de saturación de vapor a la temperatura mínima media del aire para ese período:

$$e_s = \frac{e^o(T_{\max}) + e^o(T_{\min})}{2}$$

El uso de la temperatura media del aire en lugar de las temperaturas mínima y máxima daría lugar a subestimaciones de la presión media de saturación de vapor. El correspondiente déficit de presión de vapor (un parámetro que expresa la energía evaporante de la atmosfera) también será menor y el resultado será una cierta subestimación de la evapotranspiración del cultivo de referencia. Por lo tanto, es siempre recomendable el calcular la presión media de saturación de vapor como el promedio de la presión de saturación de vapor a la temperatura máxima y a la temperatura mínima del aire.

#### *La presión real de vapor ( $e_a$ )*

La presión real de vapor ( $e_a$ ) es la presión de vapor ejercida por el vapor de agua en el aire. Cuando el aire no se satura, la presión real de vapor será más baja que la presión de vapor de saturación. La diferencia entre la presión de saturación y la presión real de vapor se llama déficit de presión de vapor o déficit de saturación y es un indicador preciso de la real capacidad evaporativa del aire.

La presión real de vapor se puede también derivar de la humedad relativa. Dependiendo de la disponibilidad de datos de humedad, se pueden utilizar diversas ecuaciones según:

Exista disponibilidad de HR<sub>max</sub> y HR<sub>min</sub>:

$$e_a = \frac{e^o(T_{\min}) \frac{HR_{\max}}{100} + e^o(T_{\max}) \frac{HR_{\min}}{100}}{2}$$

Donde:

$e_a$	Presión real de vapor [kPa]
$e^\circ(T_{min})$	Presión de saturación de vapor a la temperatura mínima diaria [kPa]
$e^\circ(T_{max})$	Presión de saturación de vapor a la temperatura máxima diaria [kPa]
HRmax	Humedad relativa máxima [%]
HRmin	Humedad relativa mínima [%]

cuando no se cuenta con datos disponibles de HRmin y HRmax pero sí la HRmedia como es el caso, aunque menos precisa que la anterior se usa la siguiente fórmula:

$$e_a = e^\circ(T_{media}) \frac{HR_{media}}{100}$$

En caso de que los datos de humedad fuesen de calidad cuestionable, se podría llevar adelante una estimación de la presión real de vapor,  $e_a$ , si se asume que la temperatura del punto de rocío (Trocío) es similar a la temperatura mínima diaria (Tmin). Se asume implícitamente que a la salida del sol, cuando la temperatura del aire está alrededor de Tmin, el aire está casi saturado con vapor de agua y que la humedad relativa es de alrededor de 100 %. Si Tmin se utiliza para representar Trocío entonces:

$$e_a = e^\circ(T) = 0,6108 * \exp \left[ \frac{17,27 * T}{T + 237,3} \right]$$

Pendiente de la curva de presión de saturación de vapor ( $\Delta$ )

Para el cálculo de evapotranspiración, se requiere calcular la pendiente de la relación entre la presión de saturación de vapor y la temperatura,  $\Delta$ . La pendiente de la curva a una temperatura dada se da por:

$$\Delta = \frac{4098 * \left[ 0,6108 * \exp \left( \frac{17,27 * T}{T + 237,3} \right) \right]}{(T + 237,3)^2}$$

Donde:

$\Delta$	Pendiente de la curva de la presión de saturación de vapor a la temperatura del aire T [kPa °C-1]
T	Temperatura del aire [°C]
exp[. ]	2,7183 (base del logaritmo natural) elevado a la potencia [..]

*Constante Psicrométrica ( $\gamma$ )*

La constante psicrométrica  $\gamma$ , se calcula por:

$$\gamma = \frac{c_p P}{\varepsilon \lambda} = 0,665 * 10^{-3}$$

Donde:

- $\gamma$  Constante psicrométrica [ kPa °C-1]
- P Presión atmosférica [ kPa]
- $\lambda$  Calor latente de vaporización = 2,45 [ MJ kg-1]
- $c_p$  Calor específico a presión constante,  $1,013 \times 10^{-3}$  [ MJ kg-1 °C-1]
- $\varepsilon$  Cociente del peso molecular de vapor de agua /aire seco = 0,622

Como  $\lambda$  varía levemente dentro de rangos de temperaturas normales, se considera un valor constante de 2,45 MJ kg-1 para la simplificación de la ecuación de FAO Penman-Monteith. Este valor corresponde al calor latente de vaporización a una temperatura del aire de alrededor de 20 °C.

*Presión atmosférica (P)*

La presión atmosférica, P, es la presión ejercida por el peso de la atmosfera terrestre. La evaporación en altitudes elevadas ocurre en parte gracias a la baja presión atmosférica que se expresa con la constante psicrométrica. Este efecto es, sin embargo, pequeño y en los procedimientos del cálculo, el valor medio para una localidad es suficiente.

Para calcular P puede emplearse una simplificación de la ley de los gases ideales, a una temperatura atmosférica estándar de 20°C:

$$P = 101,3 \left( \frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5,26}$$

Donde:

- P Presión atmosférica [kPa]
- z Elevación sobre el nivel del mar [m]

### *Radiación*

Debido a las diferencias en la posición del planeta y a su movimiento alrededor del sol, esta cantidad potencial de radiación es diferente para cada latitud y para las diversas estaciones del año. En la figura 55 puede verse un esquema de los diversos tipos de radiación.

La radiación neta,  $R_n$ , es la diferencia entre la radiación entrante y saliente de longitudes de onda cortas y largas. Es el equilibrio entre la energía absorbida, reflejada y emitida por la superficie terrestre o la diferencia de la radiación de onda corta entrante neta ( $R_{ns}$ ) y la radiación de onda larga saliente neta ( $R_{nl}$ ). La  $R_n$  es normalmente positiva durante el día y negativa durante la noche. El valor diario total para  $R_n$  es casi siempre positivo para 24 horas, excepto en condiciones extremas de latitudes elevadas. La radiación neta diaria ( $R_n$ ) está expresada en megajoules por metro cuadrado por día ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ). Estos datos no están disponibles comúnmente en forma directa pero pueden derivarse la diferencia entre la radiación neta de onda corta ( $R_{ns}$ ) y la radiación neta de onda larga ( $R_{nl}$ ):

$$R_n = R_{ns} - R_{nl}$$

$R_n$  Radiación neta diaria ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ )  
 $R_{ns}$  Radiación neta de onda corta (ecuación  
 $R_{nl}$  Radiación neta de onda larga (ecuación

### Radiación neta solar o de onda corta ( $R_{ns}$ )

La radiación neta de onda corta resultante del equilibrio entre la radiación solar entrante y la reflejada está dada por:

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s$$

Donde:

$R_{ns}$  Radiación neta solar o de onda corta [ $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ]  
 $\alpha$  Albedo o coeficiente de reflexión del cultivo, que es 0,23 para el cultivo hipotético de referencia [adimensional]  
 $R_s$  Radiación solar entrante [ $\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ]

### *Albedo ( $\alpha$ )*

Una cantidad considerable de la radiación solar que llega a la superficie terrestre se refleja en ella. La fracción,  $\alpha$ , de la radiación solar que es reflejada por la superficie se conoce como albedo. El albedo es muy variable de acuerdo al tipo de superficie y el ángulo de incidencia o la pendiente de la superficie terrestre. Su valor puede ser tan elevado como 0,95 para la nieve recientemente caída y tan bajo como 0,05 para un suelo desnudo y húmedo. Una cubierta verde de vegetación tiene un albedo de entre 0,20 a 0,25. Para el cultivo de referencia, se asume que  $\alpha$  tiene un valor de 0,23.

### *Radiación solar o de onda corta ( $R_s$ )*

Cuando la radiación atraviesa la atmósfera para llegar a la superficie terrestre, parte de ella se dispersa, refleja o absorbe por los gases, las nubes y el polvo atmosféricos. La cantidad de radiación que llega a un plano horizontal en la superficie terrestre se conoce como radiación solar,  $R_s$ . Como el sol emite energía por medio de ondas electromagnéticas caracterizadas por longitudes de onda cortas, la radiación solar también se conoce como radiación de onda corta.

Al no disponer de datos sobre radiación se ha utilizado un método alternativo recomendado por la FAO, según el cual se puede estimar Radiación solar según las diferencias térmicas. La diferencia entre la temperatura máxima y mínima del aire se relaciona con el grado de nubosidad en una localidad. Condiciones despejadas determinan altas temperaturas durante el día ( $T_{max}$ ) porque la atmósfera es transparente a la radiación solar entrante.

También se presentan bajas temperaturas durante la noche ( $T_{min}$ ) porque menos radiación saliente de onda larga es absorbida por la atmósfera. Por otra parte, en condiciones cubiertas (nubladas), el valor de  $T_{max}$  es relativamente más pequeño porque una parte significativa de la radiación solar entrante nunca alcanza la superficie de la tierra y es absorbida y reflejada por las nubes. Similarmente,  $T_{min}$  será relativamente más alta porque la cobertura de la nubosidad actúa como cobertor y disminuye la radiación saliente neta de onda larga. Por lo tanto, la diferencia entre temperatura del aire máxima y mínima ( $T_{max} - T_{min}$ ) se puede utilizar como indicador de la fracción de la radiación extraterrestre que alcanza la superficie de la tierra. Este

principio ha sido utilizado por Hargreaves y Samani para desarrollar estimaciones de ETo usando solamente datos de temperatura del aire.

La ecuación de radiación de Hargreaves, ajustada y validada en varias estaciones meteorológicas en una amplia variedad de condiciones climáticas, está dada por:

$$R_s = K_{RS} \sqrt{(T_{max} - T_{min})} R_a$$

Donde:

Ra	Radiación extraterrestre [MJ m <sup>-2</sup> d <sup>-1</sup> ]
Tmax	Temperatura máxima del aire [°C]
Tmin	Temperatura mínima del aire [°C]
kRs	coeficiente de ajuste (0,16.. 0,19) [°C <sup>-0,5</sup> ]

La raíz cuadrada de la diferencia de temperaturas está muy relacionada con la radiación solar diaria en una localidad dada. Los coeficientes de ajuste, kRs, son empíricos y se diferencian para zonas del interior y las regiones costeras:

Para las localidades «interiores», en donde la masa de tierra domina y las masas de aire no están influenciadas fuertemente por un cuerpo grande del agua, kRs≈ 0,16;

Para las localizaciones «costeras», situadas en la costa o cerca de una masa grande de tierra y donde las masas de aire están influenciadas por un cuerpo de agua cercano, kRs≈ 0,19.

Debido al gran número de datos que se maneja y ya que la mayor parte de las zonas vitícolas están en zonas interiores, se ha supuesto un dato medio de kRs≈ 0,16, aún a riesgo de cometer más errores en las zonas costeras.

### *Radiación de onda larga (Rnl)*

La radiación solar absorbida por la tierra se convierte en energía térmica. La tierra pierde esta energía por medio de varios procesos, entre los cuales se encuentra la emisión de radiación. La tierra, que tiene una temperatura mucho más baja que el sol, emite energía radiante con longitudes de onda más largas que el sol. Por ello, la radiación terrestre se conoce como radiación de onda larga. La radiación de onda larga emitida por el planeta es absorbida por la atmósfera o perdida hacia el espacio.

La radiación de onda larga recibida por la atmósfera aumenta su temperatura. Por consiguiente, la atmósfera irradia también energía. Parte de la radiación emitida por la atmósfera se dirige nuevamente hacia la superficie terrestre. Por lo tanto, la superficie terrestre emite y recibe radiación de onda larga. La diferencia entre la radiación de onda larga entrante y saliente se llama radiación neta de onda larga,  $R_{nl}$ . Como la radiación saliente de onda larga es casi siempre mayor que la radiación entrante,  $R_{nl}$  representa una pérdida de energía.

A su vez

$$R_{nl} = \sigma \left( \frac{T_{max,k}^4 + T_{min,k}^4}{2} \right) (0,34 - 0,14\sqrt{e_a}) \left[ 1,35 \frac{R_s}{R_{so}} - 0,35 \right]$$

Donde

$R_{nl}$	Radiación neta de onda larga [MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> ]
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann [ 4,903 x 10 <sup>-9</sup> MJ K <sup>-4</sup> m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> ]
$T_{max,K}$	Temperatura máxima absoluta durante un periodo de 24 horas [oK = oC + 273,16]
$T_{min,K}$	Temperatura mínima absoluta durante un periodo de 24 horas [oK = oC + 273,16]
$e_a$	Presión de vapor real [kPa]
$R_s$	Radiación solar medida o calculada [MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> ]
$R_{so}$	Radiación en un día despejado [MJ m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> ]

Radiación solar medida o calculada ( $R_s$ )

Radiación en un día despejado ( $R_{so}$ )

Se usa la siguiente fórmula:

$$R_{so} = (0,75 + 2 \cdot 10^{-5} z) \cdot R_a$$

Donde:

$R_a$	Radiación extraterrestre
$z$	Elevación de la estación sobre el nivel del mar [m]

Radiación extraterrestre ( $R_a$ )

La radiación que choca a una superficie perpendicular a los rayos del sol en el extremo superior de la atmosfera terrestre, se llama constante solar, y tiene un valor

aproximado de 0,082 MJ m<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>. La intensidad local de la radiación, sin embargo está determinada por el ángulo entre la dirección de los rayos solares y la superficie de la atmosfera. Este ángulo cambia durante el día y es diferente en diversas latitudes y en diversas épocas del año. La radiación solar recibida en la parte superior de la atmosfera terrestre sobre una superficie horizontal se conoce como radiación (solar) extraterrestre, Ra.

Si el sol se encuentra directamente encima de la cabeza, el ángulo de incidencia es cero y la radiación extraterrestre es 0,082 MJ m<sup>-2</sup> min<sup>-1</sup>. Así como las estaciones cambian, la posición del sol, la longitud del día y la radiación extraterrestre también cambian. La radiación extraterrestre es entonces una función de la latitud, la época del año y la hora del día.

La radiación extraterrestre, Ra, para cada día del año y para diversas latitudes se puede estimar a partir de la constante solar, la declinación solar y la época del año:

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} G_{sc} d_r [\omega_s \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \sin(\omega)]$$

Donde

Ra	radiación extraterrestre [MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup> ]
Gsc	constante solar = 0,082 MJ m <sup>-2</sup> min <sup>-1</sup>
dr	distancia relativa inversa Tierra-Sol
ω s	ángulo de radiación a la puesta del sol
φ	latitud [rad]
δ	declinación solar

Los valores de Ra para diversas latitudes se presentan en la siguiente tabla. Estos valores representan Ra en el día 15 de cada mes. Estos mismos valores se desvían de valores promedio de los valores diarios del mes en menos del 1 % para todas las latitudes durante periodos libres de hielo y se incluyen para simplificar el cálculo.



## **Anejo 2. Cálculo del riesgo de siniestralidad en base a las primas de riesgo**

La formulación de las primas establece, con carácter general, el orden en que deben aplicarse las deducciones y recargos para llegar a determinar la prima comercial, lo que permitirá cuantificar con exactitud las provisiones y reservas a dotar, facilitando asimismo el posterior análisis estadístico de los resultados del Seguro.

Para el cálculo de riesgo (o esperanza matemática de la siniestralidad) se ha utilizado la siguiente formulación:

$$Pb = E(x)$$

$$PR = Pb + Gp \cdot Pb$$

$$Pr r = PR + \lambda \cdot PR$$

Las primas comerciales se calculan a partir de la prima de riesgo recargada, aplicando los gastos de gestión:

$$P'' = \frac{Pr r}{(1 - G)}$$

Siendo:

Pb	Prima base
E(x)	Esperanza matemática de la siniestralidad
PR	Prima de riesgo
Gp	Gastos de prestaciones
Prr	Prima de riesgo recargada
$\lambda$	Recargo de Seguridad
P''	Prima comercial
G	Gastos de Gestión

### *Gastos de Prestaciones*

Estos gastos se refieren a:

Gastos de peritación, que se contemplan como un porcentaje de la prima base que se establece en el 6,30 por ciento.

Gastos de gestión internos de tramitación de siniestros. Al igual que en el caso de los gastos de peritaciones, los gastos de gestión internos de tramitación de siniestros, son un porcentaje de la prima base, que según las bases técnicas está establecido en el 2,94 por ciento aplicado.

Recargo total para gastos de prestaciones a aplicar es del 9'24 por ciento, suma del 6,30 por ciento de gastos de peritación más el 2'94 por ciento de gastos de tramitación y liquidación de siniestros.

### *Recargo de Seguridad*

De acuerdo con el Reglamento de Ordenación del Seguro Privado, es obligatorio establecer un recargo de seguridad para cubrir las posibles desviaciones de siniestralidad. El recargo de seguridad está establecido en el 5 por ciento de las primas de riesgo en los riesgos denominados viables, y en el 10 por ciento de las primas de riesgo en los denominados experimentales.

### *Gastos de gestión*

Existe un recargo calculado sobre las primas comerciales netas del 20'66 por ciento, suma de 6'39 para gastos de administración, 14'27 para gastos de adquisición.

### *Franquicias*

Teniendo en cuenta las características de las coberturas de cada riesgo existen riesgos con franquicia absoluta y de daños:

Riesgos con franquicia de daños del 10 por ciento de los riesgos viables como son el pedrisco, los riesgos extraordinarios

Aplicando las deducciones y recargos señalados y considerando el efecto de la franquicia de daños se obtienen:

$$PR = (Pb + 0'0924 \cdot Pb) \cdot 0'9 = 0'983160 \cdot Pb$$

$$Pr r = PR + 0'05 \cdot PR = 1'05 \cdot PR$$

Esta expresión en función de  $Pb$  será:

$$Pr r = 1'05 \cdot 0'983160 \cdot Pb = 1'032318 \cdot Pb$$

Riesgo con franquicia absoluta de los riesgos viables como la helada

En el cálculo de las primas base de estos riesgos ya se ha recogido la incidencia de las franquicias absolutas, por tanto:

$$PR = Pb + 0'0924 \cdot Pb = 1'0924 \cdot Pb$$

$$Pr r = PR + 0'05 \cdot PR = 1'05 \cdot PR$$

Esta expresión en función de  $Pb$  será:

$$Pr r = 1'05 \cdot 1'0924 \cdot Pb = 1'14702 \cdot Pb$$