

**Interreg
Sudoe**



**Co-funded by
the European Union**

An-Gel Sudoe

La presente publicación sólo refleja las opiniones del autor.

La Comisión Europea no es responsable de ningún uso que pudiera hacerse de la información que contiene

Estado del arte en el control de heladas en Francia, España y Portugal



Proyecto	An-Gel Sudoe (S1/2.4/F0016). “Lucha y alerta contra el riesgo de heladas primaverales en agricultura y arboricultura”
Grupo de Tareas	Estudio y definición de soluciones sostenibles
Actividad	A.1.1. Estudio del estado del arte a nivel transnacional
Entregable	E.1.1.1. Informe trasnacional del estado del arte
Nivel de difusión	Público
Fecha de validación	20/12/2024
Beneficiario responsable	Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries Àrea de Producció Vegetal Programa de Fructicultura
Beneficiarios participantes en la actividad	<ul style="list-style-type: none"> – Association Climatologique de la Moyenne-Garonne et du Sud-Ouest – Chambre d'Agriculture de la Dordogne – Invenio – NEIKER-Instituto Vasco de Investigación y Desarrollo Agrario, S.A. Producción Protección Vegetal – Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental – Instituto Politécnico de Bragança Escola Superior Agrária – Comunidade Intermunicipal Viseu Dão Lafões – Hydrometeorological Innovative Solutions, S.L.

ÍNDICE

A. Introducción.....	5
B. Estudios climáticos regionales y efectos del cambio climático sobre las heladas.....	6
B.1. Europa.....	6
B.1.1. Europa. Riesgo de heladas primaverales	6
B.1.2. Europa. Proyecciones climáticas.....	7
B.2. España.....	9
B.2.1. España. Riesgo de heladas primaverales	9
B.2.2. España. Proyecciones climáticas.....	9
B.2.3. Región de Murcia. Climatología y proyección de heladas y temperaturas.....	13
B.2.4. País Vasco. Climatología y proyección de heladas y temperaturas	15
B.3. Francia.....	22
B.3.1. Moyenne-Garonne. Climatología y proyección de heladas y temperaturas	22
B.3.2. Dordoña. Climatología y proyección de las heladas y temperaturas.....	30
B.3.3. El castaño. Efectos de la climatología	36
B.4. Portugal.....	37
B.4.1. Nordeste de Portugal. Climatología y proyección de las heladas y temperaturas	37
B.5. Conclusiones.....	44
C. Episodios de heladas relevantes en los últimos años.....	46
C.1. España.....	46
C.1.1. Región de Murcia	46
C.1.2. País Vasco	47
C.1.3. Lleida.....	48
C.2. Francia.....	52
C.2.1. Suroeste de Francia. Zona productora de castaño	52
C.2.2. Moyenne-Garonne.....	52
C.1. Portugal.....	53
C.2. Anejos	54
C.2.1. Región de Murcia. Zonificación del riesgo del riesgo de heladas	54
C.2.2. Región de Murcia. Estudios sobre heladas	56
C.2.3. País Vasco. Estudio sobre heladas en la región	59
C.2.4. Lleida. Estudio sobre heladas en la región.....	63
D. Principios de las heladas	65
D.1. Las heladas de radiación.....	65
D.2. Las heladas de advección.....	67
D.3. Las heladas de evaporación	67
D.4. Pero la realidad es siempre más compleja... ..	69

E. Sistemas de defensa contra heladas	70
E.1. Defensa pasiva contra heladas. Aspectos generales	70
E.1.1. Selección del emplazamiento, especies y variedades.....	70
E.1.2. Prácticas de cultivo	71
E.1.3. Francia. Defensa pasiva en el castaño	73
E.1.4. Portugal.....	74
E.2. Defensa activa contra heladas	75
E.2.1. Sistemas basados en la aportación de agua	75
E.2.2. Sistemas basados en el movimiento del aire	77
E.2.3. Sistemas basados en el aporte de calor	81
E.2.4. Estimaciones económicas.	85
E.2.5. Consideraciones sobre los sistemas de defensa contra heladas	91
E.3. Defensa química contra heladas	93
E.3.1. Introducción.....	93
E.3.2. Uso de productos químicos en la protección contra heladas	94
E.3.1. Conclusiones	98
F. Aspectos sociales del control de heladas.....	102
F.1. España	102
F.1.1. País Vasco	103
F.1.2. Región de Murcia	103
F.1.3. Lleida.....	104
F.2. Francia.....	106
F.2.1. Moyenne-Garonne.....	106
F.2.2. Zona productora de castaña	108
F.3. Portugal.....	110
G. Papel del Seguro Agrario en la gestión del riesgo de heladas	111
G.1. España	111
G.2. Francia.....	114
G.3. Portugal.....	116
H. Conclusiones y visiones del futuro de los problemas de heladas	118
H.1. España	118
H.2. Portugal.....	120
H.3. Francia.....	121

A. Introducción

An-Gel Sudoe es un proyecto cuyo objetivo es reunir y ampliar el conocimiento sobre la ocurrencia de heladas primaverales en árboles frutales y viña, sus mecanismos de acción y los sistemas para luchar contra ellas en diversas zonas de Francia, España y Portugal.

Para lograr el objetivo específico propuesto en el proyecto, es necesario partir de una sistematización del conocimiento sobre el riesgo de heladas en arboricultura y viticultura, tanto dentro de la propia asociación como fuera de ella, así como la gama de soluciones potencialmente aplicables. De esta forma, bajo el liderazgo del IRTA y la participación de todos los socios, se ha desarrollado un estudio previo del estado de la técnica.

Inicialmente se hace un **repaso de la problemática actual de las heladas** en cada una de las zonas del proyecto, con las situaciones actuales de riesgo, los episodios más destacados de los últimos años y también con la **proyección** de la evolución de la incidencia como resultado del cambio climático.

El estudio tiene en cuenta las características específicas de las regiones y los cultivos en cuestión, con el fin de adaptar las soluciones desarrolladas y garantizar su eficacia y validez en el contexto de los cultivos representativos del SUDOE, tanto desde el punto de vista agronómico como económico. Las soluciones innovadoras que se identifiquen previamente cumplirán acumulativamente las condiciones de eficacia, rentabilidad y sostenibilidad, incluyendo, entre otras, la microirrigación de alta precisión, las técnicas de gestión del suelo, los sistemas de drenaje por convección de aire frío, el uso de setos, la poda tardía de las vides o las medidas de reparación o salvaguardia tras las heladas.

El estado del arte de las diferentes **técnicas y actividades destinadas al control de heladas**, tanto de forma pasiva como activa es una parte fundamental del estudio. En él se incluye también un estudio económico de las principales soluciones disponibles.

Además, el estudio sobre el estado del arte también se centra en el **papel del seguro agrícola** como elemento fundamental para la sostenibilidad económica de los productores en cuando se producen heladas importantes en los diferentes países. En los últimos años, a medida que los daños causados por las heladas se han vuelto más frecuentes y graves, el costo de la indemnización para los asegurados ha aumentado considerablemente, lo que se refleja en un aumento de las primas de seguro pagadas por los agricultores. Por su parte, las administraciones públicas, que anteriormente habían contribuido a la indemnización de los daños a los agricultores, han cambiado su enfoque y prefieren delegar sus funciones en el sector de los seguros privados.

También se considera la valoración de los aspectos sociales relacionados con las heladas y los métodos empleados para su control, especialmente, cuando estos generan molestias para el resto de los conciudadanos.

Finalmente, se establecen unas **conclusiones** sobre el estado del arte de las heladas y su control, así como las **prioridades** en la investigación que permitan afrontar las nuevas situaciones que surgirán en el escenario cambiante como consecuencia de los efectos del cambio climático.

B. Estudios climáticos regionales y efectos del cambio climático sobre las heladas

En este apartado se describirán los estudios sobre la climatología actual e histórica en los diversos países y regiones que forman parte del proyecto, así como las previsiones del efecto del cambio climático en las heladas, especialmente aquellas que se producen de forma tardía en primavera.

B.1. Europa

B.1.1. Europa. Riesgo de heladas primaverales

Las heladas tardías de primavera, que se producen después de la germinación de las plantas herbáceas y la brotación de las leñosas, tienen un importante impacto ecológico y económico en la agricultura y la silvicultura de las regiones templadas y boreales del mundo. Los daños inducidos por las heladas en órganos vegetales vulnerables afectan notablemente al crecimiento, la salud, la capacidad competitiva y los límites de distribución de las plantas y, en Norteamérica y Europa, causan más pérdidas económicas a la agricultura que cualquier otro peligro relacionado con el clima. Aunque es difícil atribuir un solo episodio de heladas al cambio climático, tanto la frecuencia de su ocurrencia como la gravedad de los daños ocasionados pueden verse amplificadas por la crisis climática.

Lo que sucedió en 2021 puede ilustrar la tendencia en los años venideros (Copernicus Programme, 2021):

- En la primavera de 2021 se registraron temperaturas cálidas récord en muchas partes de Europa a finales de marzo. Estas condiciones continuaron en los primeros días de abril, pareciendo seguir un patrón similar de un comienzo cálido de la primavera que se ha visto en Europa en los últimos años. Sin embargo, un cambio en la circulación atmosférica trajo consigo una masa de aire frío, con temperaturas bajo cero que afectaron a gran parte de Europa; fue el abril más frío para la región en su conjunto desde 2003. Esto dio lugar a que se rompieran récords de bajas temperaturas poco más de una semana después de que se superaran récords de altas temperaturas en marzo. El inicio temprano del calor primaveral, que promovió el crecimiento de los cultivos, seguido rápidamente por una helada tardía de primavera, tuvo impactos locales en algunos sectores agrícolas.
- Durante el mes de marzo, se observaron temperaturas mucho más cálidas que la media en gran parte de Europa. El primer día en el que las temperaturas máximas diarias alcanzaron los 15 °C fue unas dos o tres semanas antes de lo habitual, para un área que se extiende desde el Reino Unido e Irlanda, pasando por el oeste y el norte de Francia, hasta Europa central y los Balcanes. Este periodo cálido tuvo una larga duración. En la mayor parte de Francia, algunas zonas del oeste de Alemania y muchas regiones del sur del continente, la temperatura máxima diaria fue de al menos 10 °C durante períodos de más de diez días. Estas condiciones se pueden utilizar como un indicador de la brotación en la vegetación.
- Para muchas de las regiones cálidas, estos largos períodos con temperaturas elevadas no son extraños. Sin embargo, para Francia, partes del sur del Reino Unido e Irlanda, el sur de Alemania y partes de los Balcanes, la ola cálida de principios de la primavera de 2021 fue inusualmente larga. La ola de calor terminó abruptamente, con aire frío moviéndose a través de grandes partes de Europa a principios de abril. Este cambio en la circulación atmosférica fue causado por un extenso y fuerte sistema de alta presión centrado sobre el norte de Escandinavia.

- El contraste entre un marzo suave y un abril frío se vio en muchas partes de Europa. En algunos casos, se observó un récord de altas temperaturas para marzo, como 25,5 °C en Sankt Andrä/Lavanttal (Carintia) en Austria, o 24,8 °C en Beauvais (Hauts-de-France), solo una semana antes de que bajaran las temperaturas. En Müllheim (Baden-Württemberg) en Alemania, se registró una máxima de 25,9 °C solo unos días antes de que cambiaran las condiciones. Si bien un día con heladas leves en abril es común, y ocurre casi todos los años en el noroeste y centro de Europa, las temperaturas tan bajas como las registradas a principios de abril de 2021 son raras. En Agen, la temperatura mínima bajo abrigo era de -2,4°C el miércoles 7/04/2024, 9,4°C menos que el día anterior, y no había caído ni una gota de lluvia desde hacía diecinueve días, lo que había secado los suelos superficiales, sobre todo los cubiertos de hierba.
- La última helada de la primavera de 2021 no solo fue severa, sino que también fue más tardía que la media. Durante el mes de abril, gran parte de Europa al norte de la Península Ibérica registró temperaturas por debajo de los -2°C. Esto es hasta dos o tres semanas más tarde que el promedio para el período de referencia 1991-2020.

Zohner et al. (2020) analizaron las heladas de finales de primavera entre 1959 y 2017 y las estrategias de resistencia de las especies leñosas para pronosticar la vulnerabilidad de los bosques ante el cambio climático. Los datos de fenología de hojas y resistencia a la congelación de hojas provinieron de hasta 1500 especies cultivadas en jardines comunes. El mayor aumento de las heladas primaverales que dañan las hojas se produjo en Europa y Asia oriental, donde las especies son más vulnerables a las heladas primaverales que en América del Norte. Los datos indican que el 35% de los bosques europeos están cada vez más amenazados por los daños causados por las heladas. Por lo tanto, las estrategias de adaptación de la fenología al clima que permitieron a los árboles tolerar las heladas en el pasado estarán cada vez más desajustadas con respecto a las condiciones climáticas futuras.

B.1.2. Europa. Proyecciones climáticas

El cambio climático puede dar lugar a patrones alterados y a un aumento de la incidencia de fenómenos extremos, y ya ha desencadenado avances en la fenología primaveral de las plantas (por ejemplo, el despliegue de las hojas primaverales se adelantó casi dos semanas entre 1982 y 2011 en Europa occidental, -Fu et al., 2014-), y se prevé que esta tendencia continúe a lo largo del siglo XXI. Desde mediados de la década de 1980, ha habido un debate sobre si la frecuencia de las heladas, su gravedad y, por lo tanto, el riesgo de daños por heladas en climas templados aumentará o disminuirá en las próximas décadas. Las temperaturas del aire más altas debido al cambio climático generalmente redujeron el número total de días de heladas por año y alargaron el periodo libre de heladas. Por otro lado, no hay consenso en que la ocurrencia y severidad de las heladas primaverales disminuyan debido al calentamiento global.

Con el calentamiento global, no hay discusión de que la brotación de la vegetación tras el descanso hibernal se produce cada vez más precozmente en Europa. Hoy en día, la temporada de crecimiento en viña comienza entre 15 y 20 días antes que en la década de 1980 (Leolini et al., 2018). Si bien el inicio temprano de la temporada de cultivo puede tener algunos efectos positivos (la temporada de crecimiento se extiende y el riesgo de estrés hídrico en los meses de verano disminuye), esto también significa que la exposición de la producción agrícola a las heladas primaverales se adelanta.

Hablando en términos de proyecciones climáticas, en Alemania se estima un adelanto de 28 a 31 días en la brotación para finales de este siglo, en comparación con la situación actual en un

escenario de cambio climático de alto nivel para todas las variedades de uva consideradas. En España este cambio estimado de brotación es de 7 a 11 días. El adelanto estimado de la floración en primavera es un poco menor que el adelanto de la brotación, con el mayor cambio en Francia: hasta 18-21 días a finales de este siglo bajo el escenario de alto nivel del cambio climático.

Algunos estudios muestran también que la frecuencia y la gravedad de las frías noches de primavera están cambiando, por ejemplo, debido al aumento de la probabilidad de invasiones de aire frío (véase, por ejemplo, Huang et al. 2021).

Olschewski et al. (2024) estudiaron el estrés de la vegetación bajo eventos extremos inducidos por el cambio climático y, entre otros resultados, mostraron un aumento potencial en la frecuencia de heladas tardías de primavera para grandes áreas de la cuenca mediterránea, afectando especialmente aquellas zonas donde se han producido periodos previos de calentamiento desproporcionado causadas por cambios en el comportamiento de las fases cálidas y frías de la circulación atmosférica. Se esperan eventos de heladas que causen daños importantes predominantemente en condiciones de altas presiones y flujo de viento en dirección desde el norte al este.

B.2. España

B.2.1. España. Riesgo de heladas primaverales

Muy pocos estudios abordan el riesgo de heladas tardías de primavera específicamente en España, pero un análisis completo del régimen de heladas en la Península Ibérica (PI) fue realizado por García-Martín et al. (2021). Utilizaron datos diarios de 68 estaciones meteorológicas pertenecientes al European Climate Assessment and Dataset (1975-2018) para realizar un estudio espacio-temporal del régimen de heladas. Las variables calculadas incluyeron la probabilidad de tres tipos de heladas según su severidad, días de helada, temperatura mínima media absoluta anual, primer día de heladas, último día de heladas y período libre de heladas. Estas variables se integraron en un sistema de información geográfica, lo que permitió la visualización gráfica de sus patrones mediante técnicas de interpolación geoestadística (kriging). Los cambios en las variables de heladas se investigaron utilizando la prueba de Mann-Kendall y el estimador de pendiente de Sen. Las conclusiones fueron:

- Se observa una reducción generalizada del número de heladas al año (valores entre heladas de $-0,04$ y $-0,8$ días al año), así como un aumento de la temperatura mínima media absoluta (valores entre $0,04$ y $0,10$ °C al año), con tendencias significativas muy elevadas en todo el territorio.
- La reducción en el número de heladas es más pronunciada a mayor altitud. Las fechas de heladas varían mucho debido a las características orográficas de la PI.
- La tendencia generalizada es de un retraso significativo de las heladas otoñales (valores entre $0,4$ y $1,06$ días/año), así como de las heladas tempranas de primavera (entre $-0,429$ y $-1,29$ días/año), y como consecuencia de un período más largo sin heladas, todos los cambios fueron mucho más fuertes que los encontrados en otras regiones del mundo.
- Estos efectos del cambio climático deben ser mitigados modificando especies, variedades y técnicas de cultivo para garantizar una agricultura sostenible.

En 2023, los mismos investigadores (García-Martín et al, 2023) realizaron otro estudio con un conjunto de datos más amplio (1975-2020) y más orientado a los efectos en las principales zonas frutícolas de España. Para evaluar las tendencias (1975-2020) se utilizaron datos diarios de seis estaciones meteorológicas en las principales zonas frutícolas del período de investigación. Las variables analizadas son la temperatura media anual mínima absoluta y el último día de heladas primaverales. Los resultados mostraron:

- Aumento de la temperatura mínima media absoluta (valores entre $0,06$ y $0,10$ °C por año), con tendencias significativas muy elevadas en Murcia y Sevilla.
- Las fechas medias de heladas variaron mucho debido a las características orográficas y a la variabilidad interanual de nuestro clima, pero la tendencia generalizada y significativa es de un adelanto de las heladas de principios de primavera (entre $0,48$ y $1,30$ días) y, como consecuencia, un mayor riesgo de daños durante la floración.

B.2.2. España. Proyecciones climáticas

En España, la Agencia Nacional de Meteorología publicó en 2017 una Guía de Escenarios Regionalizados de Cambio Climático en España basada en los resultados del IPCC-AR5. En este documento se ofrece un apartado específico dedicado al número de días de heladas (días con temperatura mínima inferior a 0°C) en España teniendo en cuenta los escenarios de cambio climático. La evolución de este índice está estrechamente relacionada con el comportamiento de la temperatura mínima durante los meses fríos. Para la España peninsular se espera una

disminución del número de días de heladas con una evolución similar entre todos los escenarios hasta 2050, y un descenso más pronunciado para el escenario más emisoro en torno a 2060.

Centrándonos en las diferentes cuencas hidrográficas, las mayores disminuciones se esperan en la cuenca del Duero, seguida de la cuenca del Ebro donde el periodo invernal concentra la pérdida de días de heladas. A finales de siglo, en primavera, las cuencas del Duero y del Ebro vuelven a mostrar el decrecimiento más significativo, entre 10 y 20 días, frente al resto de cuencas que se espera que tengan entre 1 y 5 días menos de heladas.

Según los datos de la Agencia Española de Meteorología (AEMET), se ha observado un incremento de aproximadamente 1,3 °C en las temperaturas medias durante los últimos 70 años en España (Figura 2).

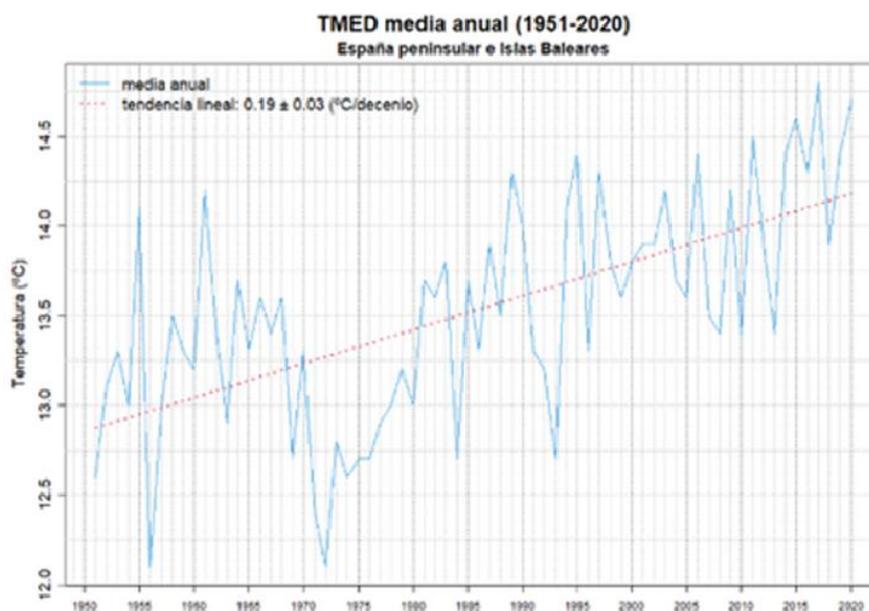


Figura 1.- Temperatura media anual de España en el periodo 1951-2020 (AEMET, 2021).

En su *'Informe sobre el estado del clima de España de 2021'*, indica que las temperaturas medias anuales han experimentado un aumento constante, con siete de los diez años más cálidos registrados en la última década, excluyendo el año 2022. En términos generales, la temperatura media ha experimentado un incremento de aproximadamente 0,19 °C por década en la Península. Este aumento en la temperatura media ha conllevado un incremento en la frecuencia de fenómenos extremos relacionados con altas temperaturas. Como ejemplo, las olas de calor en la década 2011-2020 se han duplicado en comparación con las décadas anteriores (Figura 2).

Por lo tanto, un "pequeño incremento" en la temperatura media puede dar lugar a fenómenos más extremos más frecuentes y de una mayor extensión.

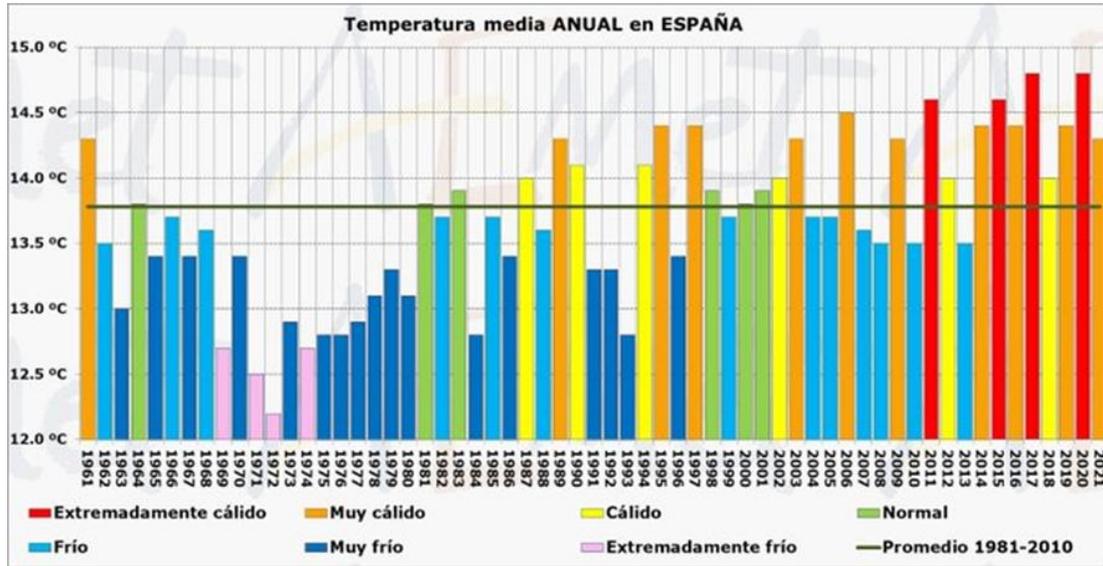


Figura 2.- Temperatura media anual de España en el periodo 1961-2021 (AEMET, 2021).

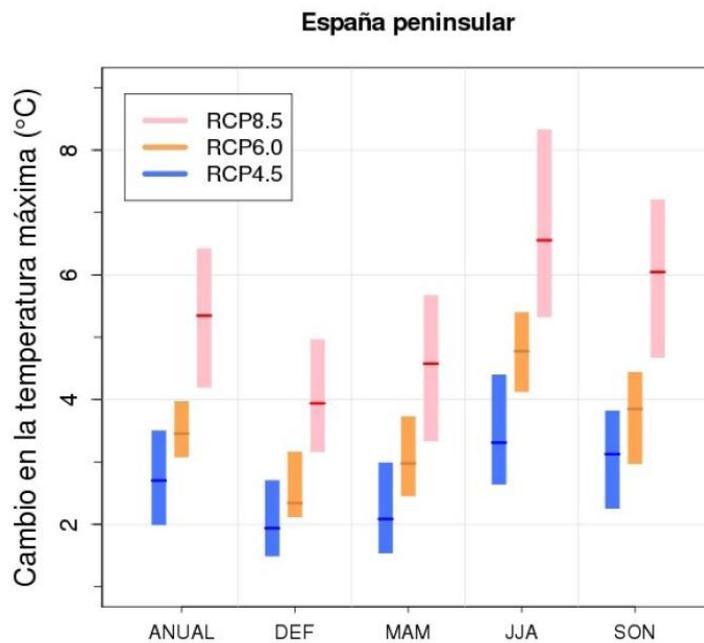


Figura 3.- Cambio de los valores medios anuales y estacionales (trimestralmente) de la temperatura máxima para la España peninsular para los diferentes escenarios de emisiones (RCP4.5, RCP6.0, RCP8.5) para el periodo 2081-2100. La barra central indica la mediana de las proyecciones y la barra el rango entre los percentiles 17 y 83. (Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras), 2020).

El número de días de helada es el número de días con temperatura mínima inferior a 0 °C en un periodo determinado. La variación de este índice está muy ligada al comportamiento de las temperaturas mínimas de los meses más fríos. Para la España peninsular, se observa una disminución del número de días de helada en la escala anual (AEMET, 2021) con una evolución muy similar entre los escenarios hasta 2050 y un descenso más pronunciado para el escenario más emisoro. Por comunidades autónomas, prácticamente no se aprecian cambios en ambos archipiélagos, las variaciones serán menores en las comunidades del Norte, Comunidad Valenciana y Murcia, todas ellas zonas costeras y con pocos días de heladas. Esto nos indica que, para finales de siglo, la ocurrencia de este fenómeno en estas zonas será extremadamente raro. Sin embargo, los cambios mayores tenderán a producirse en Castilla y León y Aragón (Figura 4).

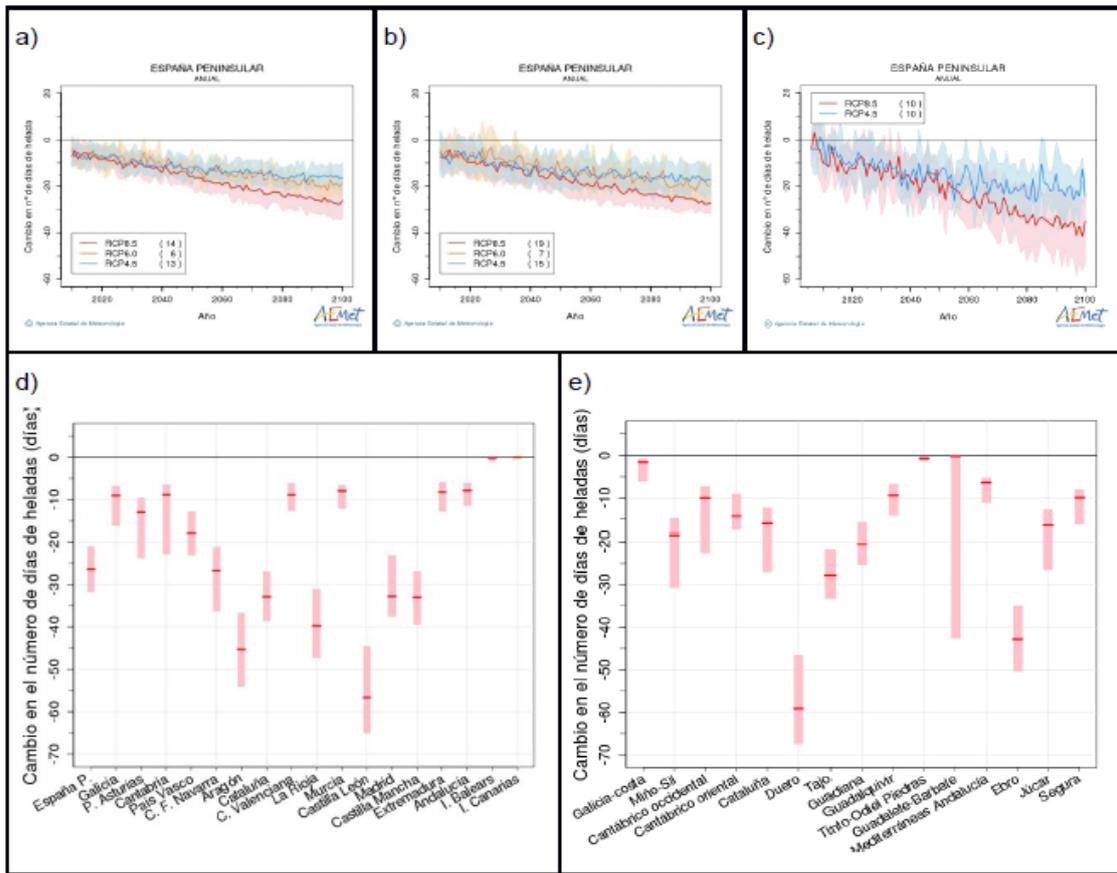


Figura 4.- Cambio de los valores medios del número de días de heladas en la España peninsular y en las diferentes Comunidades Autónomas para los diferentes escenarios de emisiones (Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras), 2020).

B.2.3. Región de Murcia. Climatología y proyección de heladas y temperaturas

Según un estudio científico elaborado por investigadores del Laboratorio de la climatología de la Universidad de Alicante y del Observatorio de la sostenibilidad, el calentamiento global ha dejado en comunidades como la Región de Murcia y la Comunidad Valenciana un aumento de las temperaturas de hasta 1,5°C desde 1950. En concreto, en zonas urbanas como Murcia se ha observado un incremento de 1,6°C de temperatura (Figura 5), mientras que en zonas rurales del territorio murciano el valor alcanza los 1,2°C.

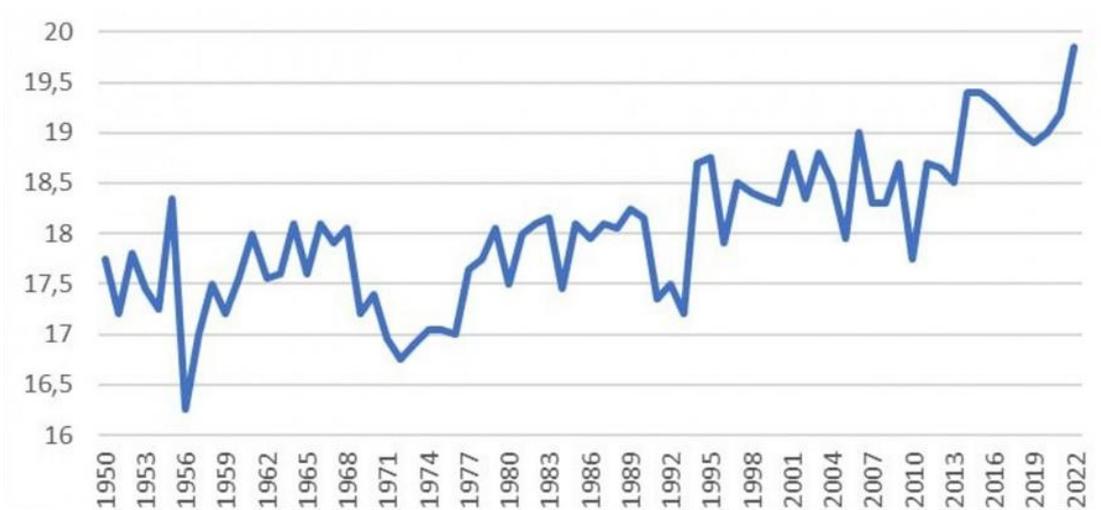


Figura 5.- Temperatura media anual de Murcia en el periodo 1950-2022 (AEMET,2023).

En este estudio se concluye también que buena parte del calentamiento observado en los observatorios urbanos ha afectado a las temperaturas mínimas, con un aumento de 2°C entre los años 1950 y 2022.

Este incremento de temperatura ha sido mucho más marcado en el periodo en los últimos 40 años (1984-2022), como se observa en la Figura 6.

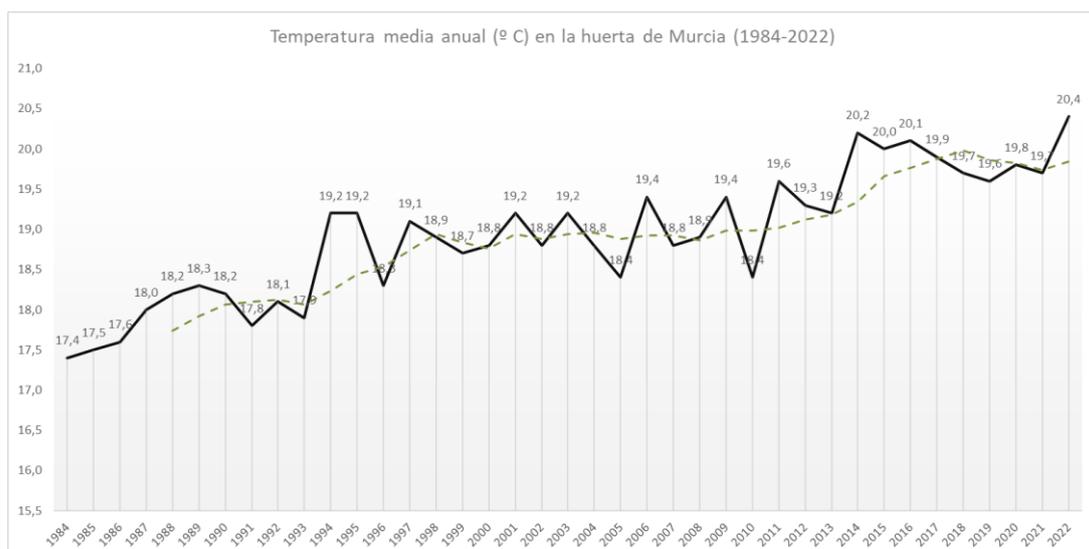
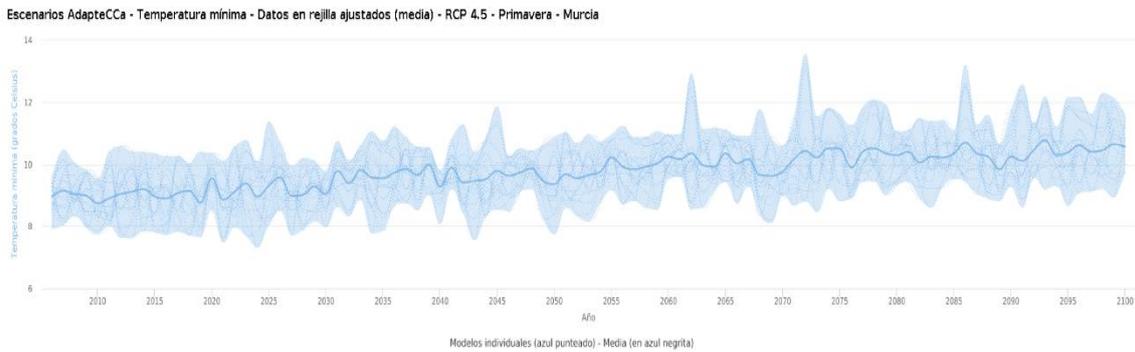


Figura 6.- Temperatura media anual de Murcia en el periodo 1984-2022 y media móvil de 5 años.

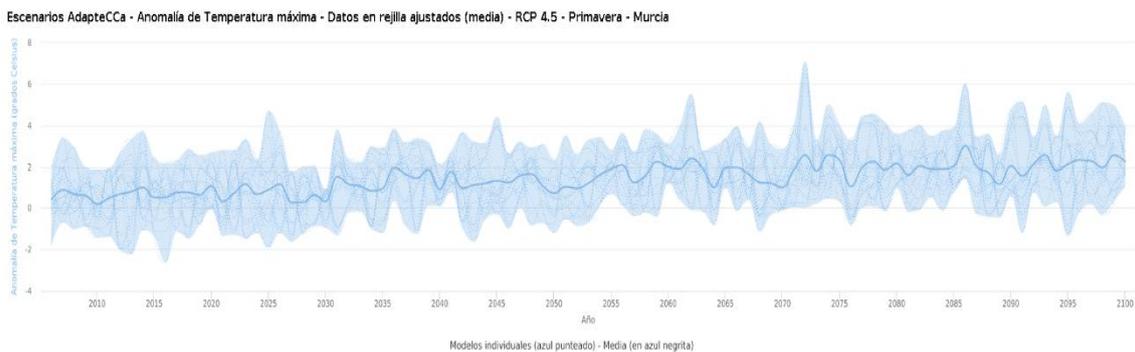
Por otra parte, el Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S) ha confirmado recientemente que «2023 es el año más cálido jamás registrado». En el caso de la Región de Murcia, la temperatura media se ha disparado 2°C respecto a la última serie histórica. La variación en 2023 sobre el promedio del periodo 1981-2022 sitúa a Murcia entre las seis provincias españolas con mayor incremento. Los datos de AEMET confirman que 2023 entrará en los cuatro años más cálidos en España, junto con 2017, 2020 y 2022. En Europa, el año pasado se sitúa como el segundo más caluroso con 1,02 °C por encima de la media de 1991-2020 y tan solo 0,1°C más fresco que 2020, el más cálido registrado.

Las proyecciones del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) para la región de Murcia sugieren que las temperaturas continuarán aumentando en el futuro debido al calentamiento global (Figura 7) y (Figura 8). En cuanto a las temperaturas mínimas primaverales también sufrirán un incremento que puede analizarse para las diferentes regiones españolas con la aplicación del proyecto Adaptateca (<https://escenarios.adaptecca.es/>).



Fuente: <https://escenarios.adaptecca.es>

Figura 7.- Temperatura mínima primaveral para la región de Murcia en el escenario RCP 4.5.



Fuente: <https://escenarios.adaptecca.es>

Figura 8.- Anomalía de temperatura máxima primaveral en Murcia en el escenario RCP 4.5.

B.2.4. País Vasco. Climatología y proyección de heladas y temperaturas

Los escenarios climáticos regionales constituyen una información de referencia y de carácter transversal para posteriores estudios de impacto del cambio climático sobre los diversos sectores, como puedan ser la salud, agricultura, recursos hídricos, medio natural etc. con el objetivo de identificar las mejores medidas de adaptación al cambio climático. En el País Vasco se ha desarrollado una herramienta específica que permite obtener proyecciones climáticas en diferentes escenarios de emisiones. Esta información está disponible a través del siguiente vínculo web:

http://escenariosklima.ihobe.eus/#&model=multimodel&variable=tas&scenario=rcp85&temporalFilter=YEAR&layers=MUNICIPALITIES&period=MEDIUM_FUTURE&anomaly=RAW_VALUE

Los escenarios climáticos que se presentan en esta herramienta proporcionan datos sobre variables básicas (temperaturas y precipitación) hasta el año 2100 con alta resolución espacial (1km x 1km), y temporal (datos diarios), así como sobre indicadores derivados de estas dos variables (olas de calor, noches tropicales, días de helada...). Toda esta información se ha incluido en un sistema de información geográfica o visor que permite:

- Visualizar estas variables (temperatura, precipitación, etc.) para el periodo histórico de referencia (1971-2000), futuro cercano (2011-2040), futuro medio (2041-2070) y futuro lejano (2071-2100).
- Analizar y extraer la anterior información mediante búsquedas en ámbitos determinados, que pueden ser un municipio concreto, una comarca, un barrio, zonas de interés ambiental... Hay diversas tipologías de búsquedas predefinidas, además de la opción de dibujar una figura en el mapa (polígono) sobre la que extraer la información.
- Visualizar y descargar series temporales de datos, por años, o por estaciones, bien medias anuales, bien datos diarios.

Toda esta información está disponible, en el caso de los datos futuros, tanto para la media de los diferentes modelos como para cada uno de los modelos individuales.

A continuación, se presentan algunas gráficas de evolución de variables meteorológicas de interés para el proyecto An-Gel Sudoe a lo largo de los últimos 68 años. Los datos pertenecen a la estación meteorológica de Arkaute situada en las proximidades de Vitoria-Gasteiz. En este caso son datos procedentes de una estación fija. No obstante, con la herramienta anteriormente mencionada se podrían extraer datos también a tiempo pasado desde 1971 con una resolución de 1 km². Las últimas dos gráficas que se presentan combinan los datos históricos de la estación de Arkaute hasta 2023 con proyecciones climáticas hasta 2053 obtenidas mediante la herramienta mencionada anteriormente para 12 modelos climáticos diferentes (de acuerdo a la metodología seguida por el IPCC).

En la Figura 9 se representa la evolución de la temperatura media anual en Arkaute desde 1955 hasta 2023 así como las medias de los últimos 5 años precedentes y las medias de los últimos 30 años precedentes. Este último parámetro permite observar un incremento de prácticamente 1°C en la media a 30 años desde 1985 hasta 2023 que podría dividirse en dos fases: un aumento, más lento, de 0,5°C desde 1984 hasta 2013, y uno mucho más acelerado, de 0,4°C en los últimos 10 años.

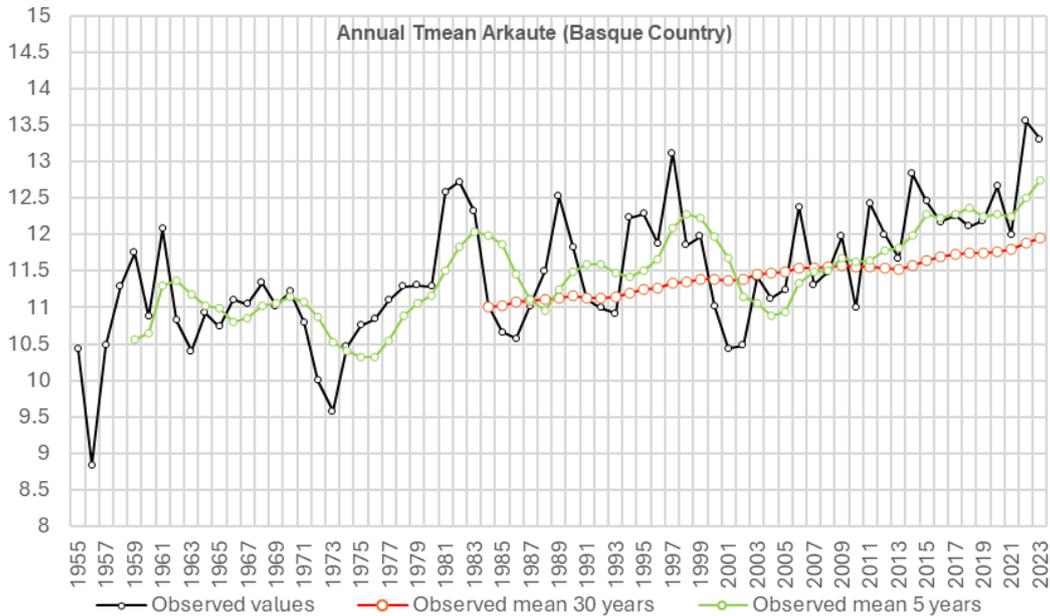


Figura 9.- Evolución de la Tª media anual (°C) en la estación de Arkaute (línea negra). Tª media de los 5 años precedentes (línea verde) y media de los 30 años precedentes (línea roja).

En la Figura 10 se representa la evolución de la temperatura mínima absoluta y la media y mínima de las temperaturas mínimas absolutas de los 30 años precedentes (°C) del mes de abril desde 1955 en la estación meteorológica de Arkaute. La temperatura mínima absoluta muestra una cierta estabilidad en los valores desde 1984 hasta 2003, y un incremento de las temperaturas mínimas absolutas de abril de unos 0,6°C en los últimos 20 años.

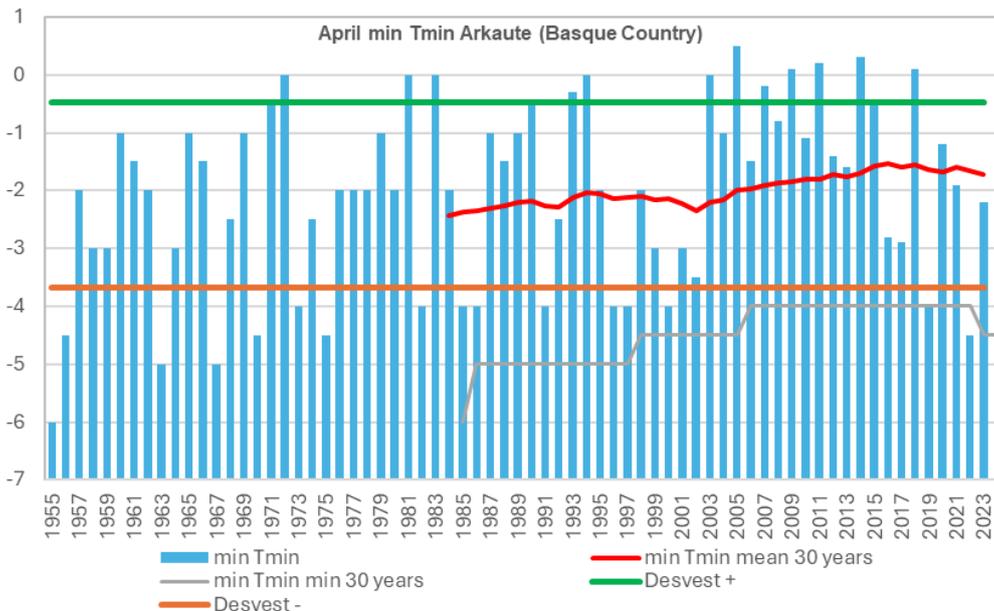


Figura 10.- Evolución de la Tª mínima absoluta (°C) del mes de abril desde 1955 en la estación de Arkaute (barras azules). Media de las temperaturas mínimas absolutas del mes de abril de los 30 años precedentes (línea roja). Mínimo de temperaturas mínimas absolutas de los 30 años precedentes (línea gris).

En la Figura 11 se muestra la evolución de la temperatura media de febrero y marzo desde 1955 en Arkaute (barras naranjas). Del análisis de la serie de valores a 30 años (línea morada) se constata una cierta estabilidad en los valores desde 1984 hasta 2003, y un incremento de las temperaturas medias de febrero y marzo de unos 0.6 °C desde 1984 hasta 2023.

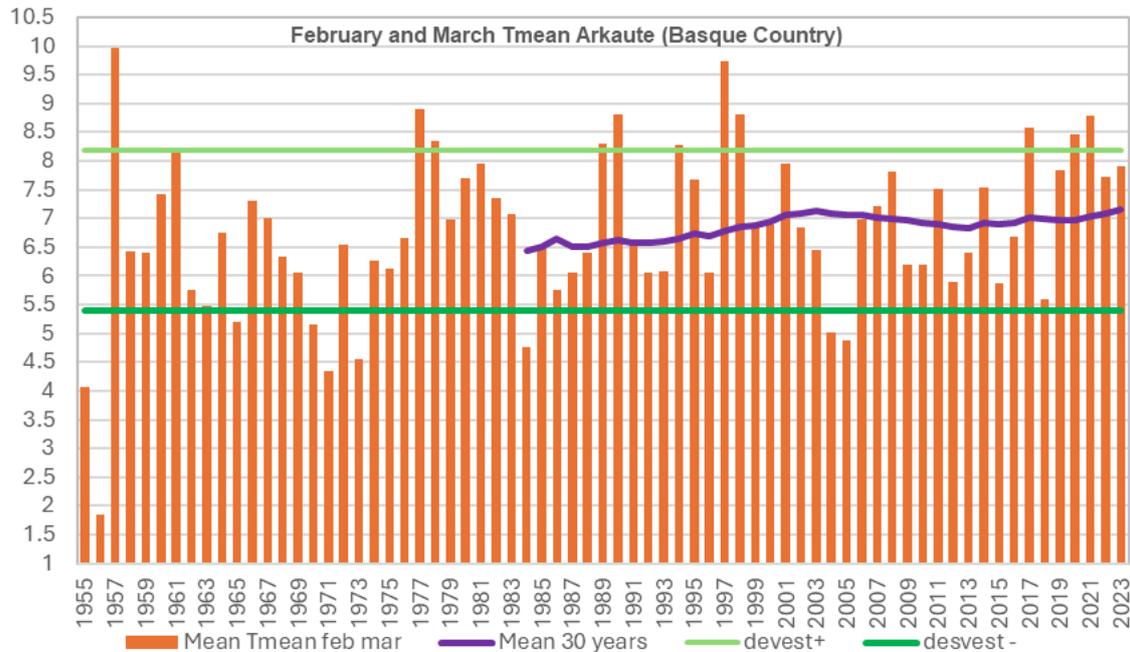


Figura 11.- Evolución de la temperatura media (°C) de febrero y marzo desde 1955 en la estación meteorológica de Arkaute (barras naranjas). Temperatura media de los 30 años precedentes (línea morada).

La evolución de los días de helada en primavera desde 1955 en la estación meteorológica de Arkaute se muestra en la Figura 12 (barras azules). La línea amarilla representa la media de días de helada primaverales (media de 30 años precedentes). Se puede observar una reducción de la media a 30 años del número de días primaverales desde 1984 hasta 2017 de unos 2 días. Sin embargo, en los últimos 6 años se constata un ligero incremento de esta media (de 30 años) de unos 0,5 días. De manera que desde 1984 se ha producido una reducción de la media de número de días primaverales de 1,5 días.

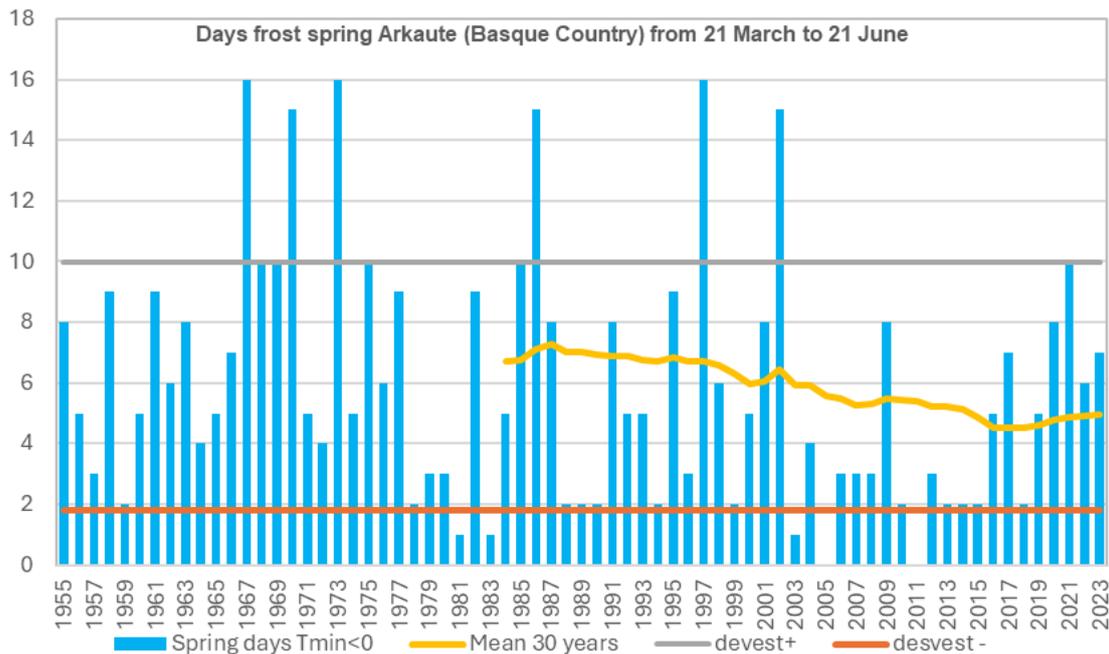


Figura 12.- Evolución de los días de helada (Barras azules) y media de días de helada de 30 años precedentes (línea amarilla) en primavera desde 1955 en la estación meteorológica de Arkaute.

En las Figura 13 y Figura 14 se representan las series históricas de temperatura media anual y días de helada primaverales desde 1955 hasta 2023 en Arkaute, combinadas con las proyecciones climáticas de estos datos para esta misma estación hasta 2053. En base a las salidas de 12 modelos de proyección climática obtenidas mediante la herramienta mencionada anteriormente (de acuerdo a la metodología seguida por el IPCC) (líneas grises de las gráficas) se han prolongado hasta 2053 las líneas que representan las medias de 30 años de temperatura media anual y días de helada primaverales. Para proyectar estas tendencias a 30 años se han utilizado las medias de los 12 modelos de proyección climática utilizados. El escenario de emisiones escogido para estas proyecciones es el RCP 4.5. La Figura 13 muestra un posible incremento de 0,85 °C de las medias de 30 años de la temperatura media anual de la estación de Arkaute en los próximos 30 años. Por otra parte, en cuanto a la evolución del número de días de helada primaverales en los próximos 30 años no se observa una variación significativa en los próximos 30 años atendiendo a la serie de medias de 30 años proyectada hasta 2053 (Figura 14).

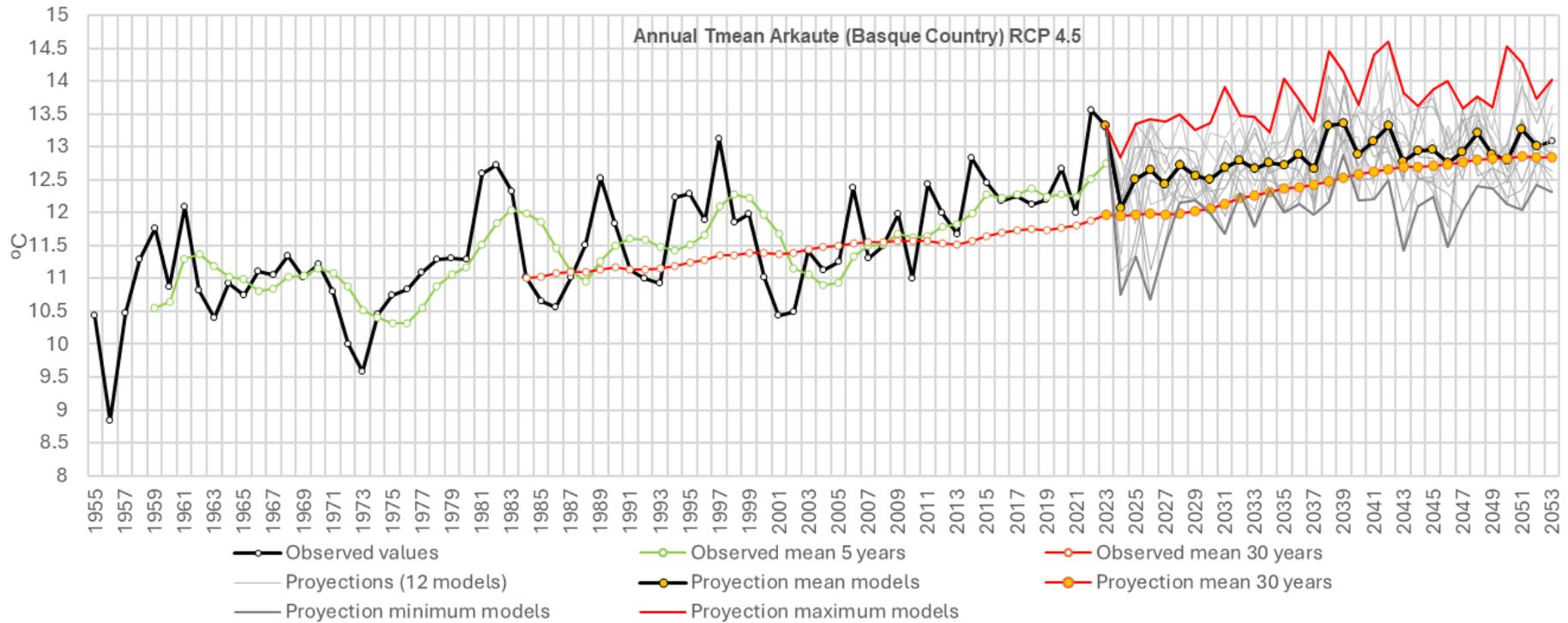


Figura 13.- Valores observados de temperatura media anual (°C) entre 1955 y 2023 (línea negra), media de 5 años (línea verde), media de 30 años (línea roja) y proyección de la evolución de la temperatura media anual (línea gris) y media de 30 años (línea roja con puntos amarillos) hasta 2053 en la estación meteorológica de Arkaute.

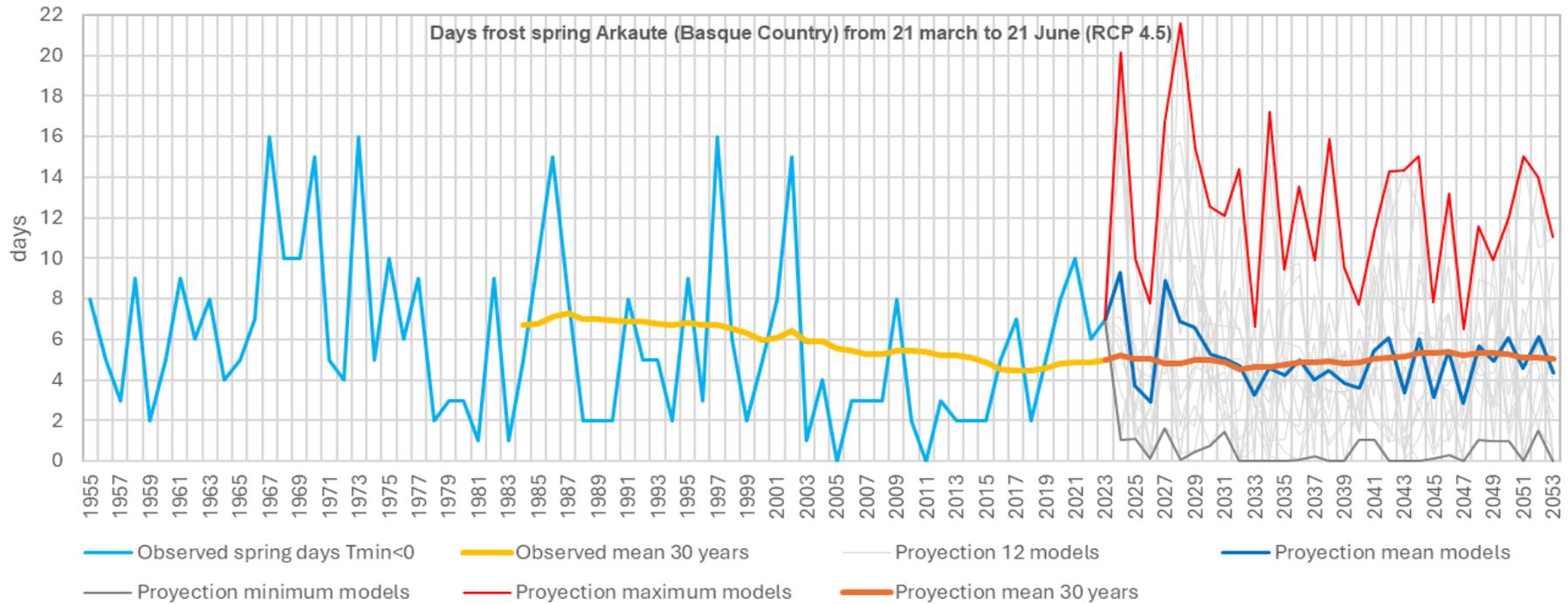


Figura 14.- Valores observados de los días de helada en primavera entre 1955 y 2023 (línea azul), media de 30 años (línea amarilla) y proyección de la evolución del número de días de helada (línea roja) y media de 30 años (línea naranja) hasta 2053, en la estación meteorológica de Arkaute.

Sería necesario realizar un estudio más profundo para vislumbrar los posibles efectos del cambio climático en la zona en la que se sitúa la estación de Arkaute en cuanto a la incidencia de las heladas primaverales. De los gráficos presentados se constata que el incremento de las temperaturas medias anuales proyectado hasta 2053 (0,85°C) podría acelerar el desarrollo fenológico de ciertos cultivos y hacerlos más susceptibles en los días en los que se pudieran producir heladas (no se observa una tendencia muy clara en cuanto a una reducción del número de días de helada en primavera). No obstante, las temperaturas mínimas absolutas se han incrementado en los últimos años, de manera que, aunque no se presentan sus datos de proyección futura, cabe pensar que esta tendencia podría mantenerse de manera que este hecho podría incidir en una menor afectación de los tejidos vegetales cuando se produzcan estos eventos de helada. La conjunción de una mayor susceptibilidad por la aceleración del desarrollo fenológico asociada al incremento de temperaturas medias anuales, y una menor afectación de los eventos de helada por el incremento de las temperaturas mínimas absolutas dificulta la obtención de conclusiones claras.

B.3. Francia.

B.3.1. Moyenne-Garonne. Climatología y proyección de heladas y temperaturas

B.3.1.1. Introducción

Hemos utilizado todos los datos climatológicos disponibles en la ACMG desde los años 50 para analizar la evolución de las temperaturas medias anuales bajo abrigo. Hemos elegido la estación AGEN, que posee la serie más larga y es representativa de las condiciones de la Moyenne-Garonne, en los valles del Garona y del Lot, entre Montauban y La Réole. Las estaciones situadas en las laderas son menos frías.

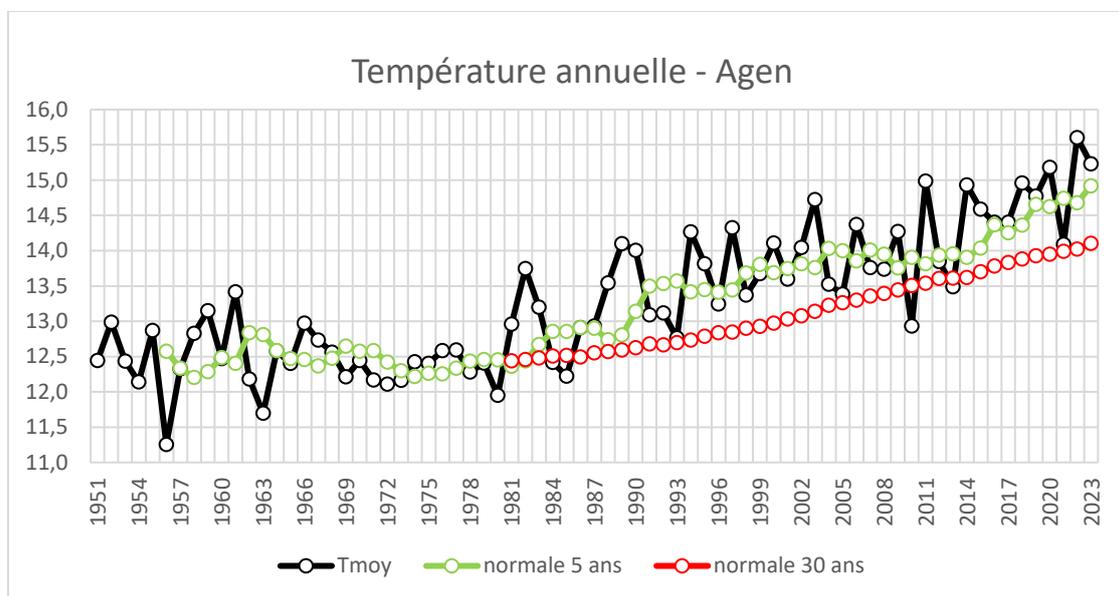


Figura 15.- Evolución histórica de la temperatura media anual en Agen bajo abrigo (en negro), la media quinquenal (en verde) y la normal de 30 años (en rojo).

El primer gráfico (Figura 15) muestra la evolución de esta temperatura media anual bajo abrigo, medida cerca de Agen desde 1951 por Météo-France y luego por la ACMG junto al aeropuerto de Agen, en una zona herbosa, y desde 2022 en la Tecnópolis de Agen Garona, siempre en la orilla izquierda del Garona también en una zona herbosa y relativamente arbolada, sin influencia de las pistas del aeropuerto ni de las carreteras de la zona TAG.

El año más frío fue 1956, cuando se produjo una ola de frío invernal dramática, con mínimas en febrero a menudo inferiores a -20°C , que acabó con las especies mediterráneas de la región (olivos, laureles, higueras, etc.).

A partir de la década de 1980, la temperatura media empezó a subir, superando el umbral de los 14°C en 1989 y 1990. Desde entonces, las temperaturas han seguido aumentando, a pesar de algunos descensos de corta duración, como en 2010 y 2013. El máximo observado hasta la fecha en 2022, de $15,6^{\circ}\text{C}$, corresponde a un aumento de la

temperatura normal de 1,8°C en las tres últimas décadas. Si observamos el aumento por década, vemos que en los últimos 30 años se ha producido un aumento sucesivo cada diez años de +0,5, +0,4 y +0,9°C.

Nuestro objetivo es imaginar las condiciones climáticas y, por tanto, térmicas en las que viviremos en los próximos treinta años. Proponemos dos escenarios: el primero es bastante optimista y se basa en una continuación de la pendiente media observada en los últimos 30 años, es decir, un aumento de 1,8°C de aquí a 2053, y el segundo es más realista y se basa en una extrapolación de lo que acaba de ocurrir en los últimos años, es decir, un aumento de otros 2,7°C de aquí a 2053.

Como no disponemos de un modelo capaz de construir esas temperaturas, partimos de la hipótesis de que los fenómenos climáticos de paso de depresiones y anticiclones observados en los últimos treinta años seguirán produciéndose, con un único cambio importante, que será el aumento de la temperatura. Así pues, hemos tomado la variación observada, la hemos duplicado y la hemos proyectado en función del aumento de temperatura de 1,8°C y luego de 2,7°C. Con estas nuevas series de datos diarios, hemos trazado el clima futuro de nuestro sector.

Aplicamos este método en 2013 y desde entonces hemos comprobado que ha permitido anticipar los fenómenos extremos que hemos vivido en términos de olas de calor. No hemos trabajado sobre las heladas, pero sí hemos predicho un inicio más temprano de los ciclos vegetativos sin imaginar las consecuencias que desgraciadamente se verán en 2021 y 2022.

B.3.1.2. Resultados

La Figura 16 presenta la evolución pasada y futura de la temperatura media anual en Agen bajo abrigo (en negro), la media de 5 años en verde y la normal en rojo, teniendo en cuenta una progresión moderada equivalente a la observada durante 30 años de 1,8°C.

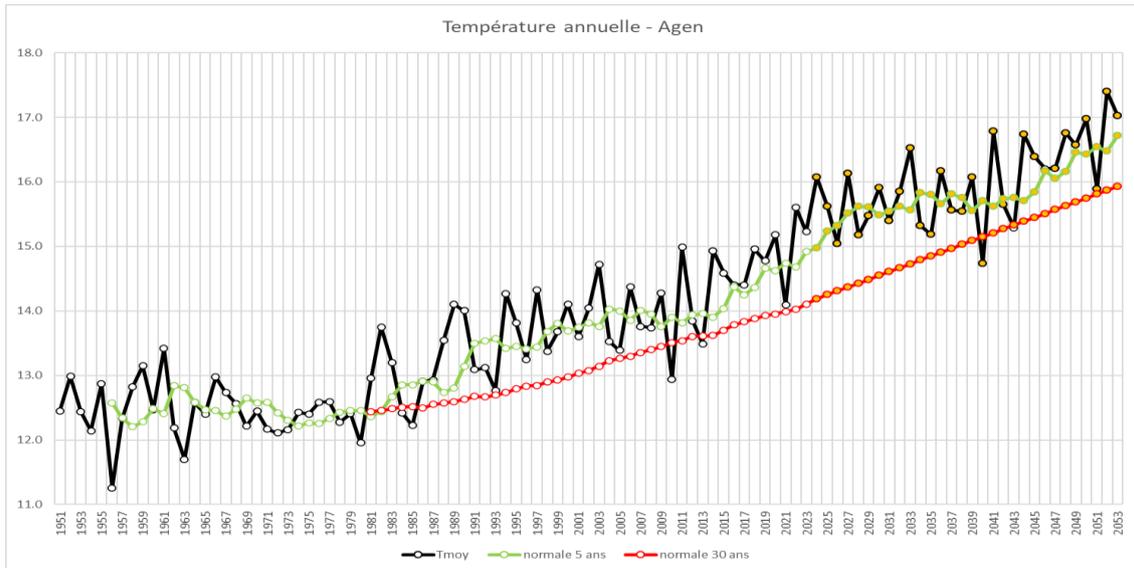


Figura 16.- Tendencias pasadas y futuras con un aumento de 1,8°C en los próximos 30 años de la temperatura media anual en Agen y bajo abrigo (en negro), la media quinquenal (en verde) y la normal (en rojo). Los puntos y la línea amarillos son los datos previstos.

Podemos ver que, en sólo 70 años, la temperatura media en Agen podría aumentar hasta casi 5°C si no reducimos el contenido de gases de efecto invernadero en la atmósfera, principalmente CO₂. En el escenario más realista de un progreso acorde con lo que venimos experimentando en los últimos diez años, j este aumento será de casi 6°C!¹

A partir de esta serie de datos sobre las temperaturas máximas y mínimas en la zona de Agen observadas entre 1951 y 2023, más los elaborados hasta 2053 con el método descrito brevemente más arriba, hemos analizado los datos relativos a las heladas primaverales. La primera tarea consiste en registrar el número de días en que las temperaturas descendieron por debajo de 0°C a cubierto, teniendo en cuenta que esto corresponde a -2°C a 1,50 m al aire libre, lo cual es perjudicial para las plantas sensibles que han iniciado su crecimiento.

La Figura 17 muestra la evolución desde 1951 del número de días con temperaturas mínimas inferiores a 0°C en Agen hasta 2023 para la parte observada y de 2024 a 2053 para la parte proyectada, con un aumento de sólo 1,8°C.

¹ En otro trabajo hemos realizado el mismo análisis climático sobre las precipitaciones, donde mostramos que los totales de precipitaciones se mantendrán estables o incluso aumentarán, ya que la atmósfera más cálida podrá contener más vapor de agua procedente del océano o del Mediterráneo. No obstante, con temperaturas más elevadas, las necesidades de agua serán mayores.

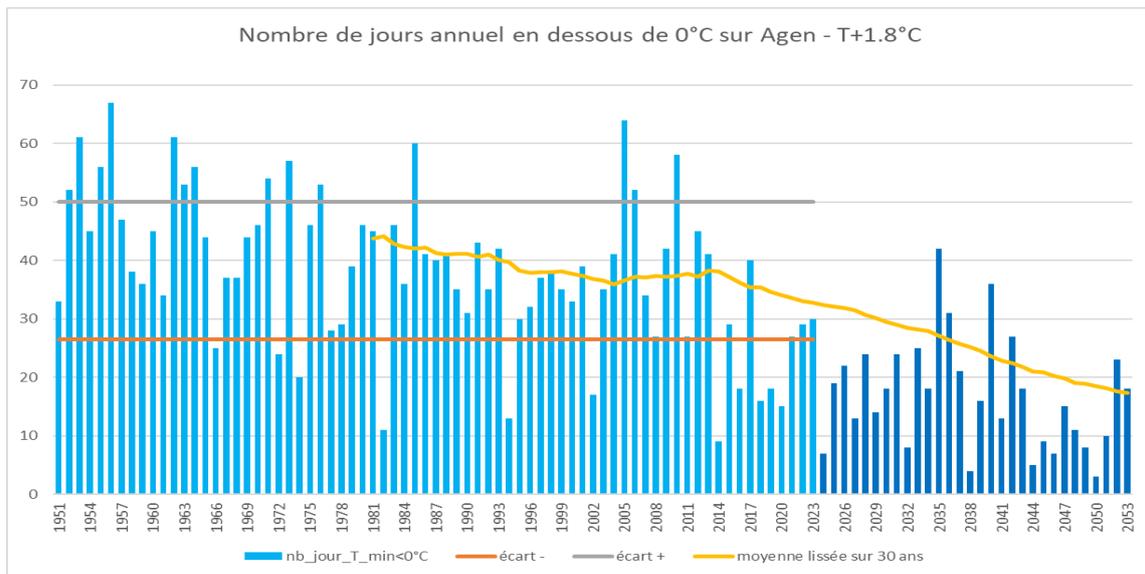


Figura 17.- Evolución pasada y futura del número de días anuales con temperaturas negativas en Agen y al abrigo, siendo el amarillo la normal y el gris y el marrón las desviaciones estándar.

Hay que tener en cuenta que este gráfico recoge los datos de todos los días del año, incluidos otoño, invierno y primavera, y no solo los meses con riesgo de heladas de marzo a mayo, como se muestra a continuación.

Esto confirma que será difícil cubrir las necesidades de frío de los cultivos, como ocurrió en 2014, cuando se observaron periodos de floración muy largos en las manzanas Golden y en algunos ciruelos. En el futuro, esta situación podría darse con mucha más regularidad, como en 2032, 2038, 2044, 2045, 2046, 2049 y 2050. Al final de este medio siglo, habremos perdido una quincena por heladas entre octubre y abril.

A partir de los registros de las temperaturas mínimas observadas en abril desde 1951 en Agen, hemos trazado el gráfico de la Figura 18, que muestra el valor extremo de esta mínima del mes de abril. Es fácil imaginar que cuando la temperatura mínima es inferior a -2°C a cubierto, se producen importantes daños por heladas en la región.

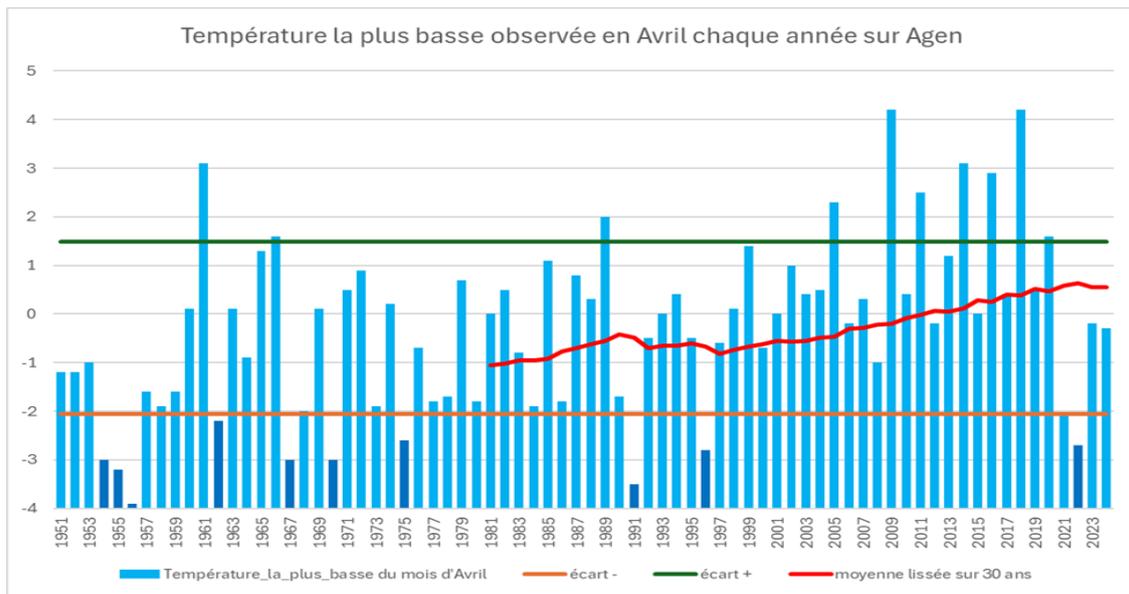


Figura 18.- Evolución de la temperatura mínima al abrigo para el mes de abril en Agen, de 1951 a 2024.

Los años más fríos y con mayores daños por heladas, como 1956, 1967, 1970, 1991 y 2021 y 2022, son claramente visibles. Sin embargo, la tendencia en la media de 30 años es claramente ascendente, con temperaturas que pasan de -1°C a principios de los años 80 a $+0,5^{\circ}\text{C}$ en 2020. Entre 1997 y 2020, las temperaturas mínimas en abril nunca bajaron de -1°C , y sólo cultivos como los kiwis, los albaricoques, los melocotones y las variedades tempranas deben protegerse de las heladas. Sin embargo, en 2021 y 2022 experimentamos dos olas de frío que recuerdan a las de los años 60 y 70, lo que debería alarmarnos y obligarnos a estar aún más atentos a esta inclemencia atmosférica, con medios eficaces para combatirla.

Veamos el periodo de heladas primaverales en la Figura 19 que muestra los datos correspondientes a los meses de marzo, abril y mayo únicamente, y para el escenario de $+1,8^{\circ}\text{C}$ en 30 años.

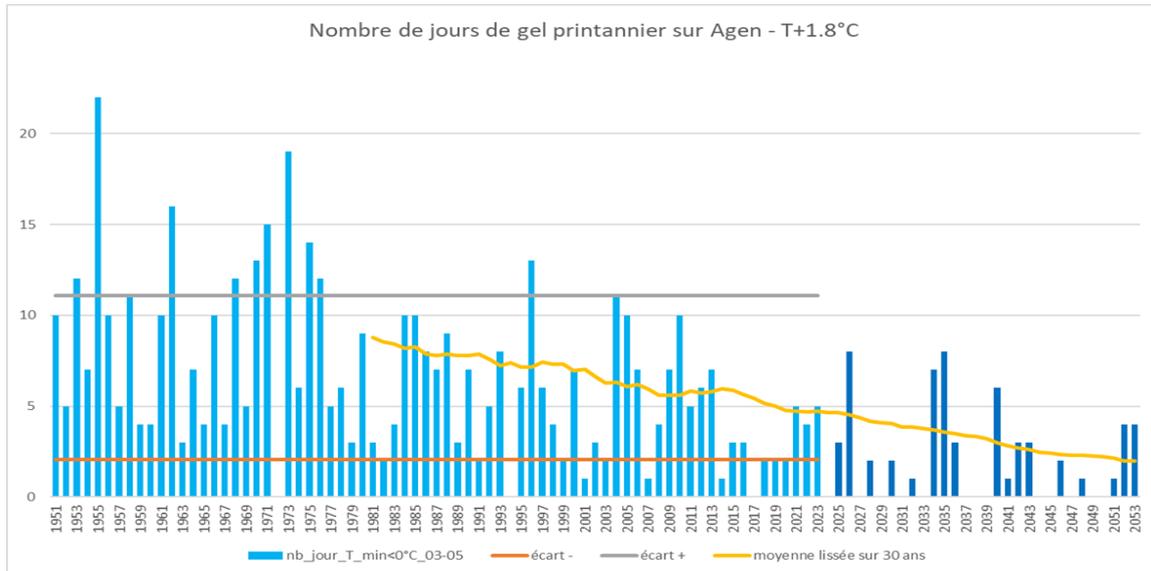


Figura 19.- Evolución pasada y futura del número de días con temperaturas negativas en Agen y bajo abrigo entre marzo y mayo, siendo el amarillo la normal y el gris y el marrón las desviaciones estándar.

Observando simplemente la evolución del número de días con heladas en los meses de marzo a mayo desde 1951 y proyectándola hasta 2053 según el método propuesto anteriormente, podemos confirmar una reducción del número de días de riesgo, con una alternancia cada vez más frecuente de ausencia total de fenómenos con algunas noches con heladas, incluso en abril. Esto ya significa que el control antiheladas, que se utiliza con menos frecuencia, seguirá empleándose con regularidad, lo que nos anima a mantener una protección activa. Es más, estamos viendo que la reducción del número de días fríos, sobre todo en marzo, está permitiendo que la vegetación se active antes, cuando todavía son posibles peligrosos periodos fríos en abril. Este es el tipo de escenario que se viene produciendo con bastante regularidad desde 2017 en el suroeste de Francia, como ya venía sucediendo en el sureste desde 2004.

Por lo tanto, hemos anticipado y examinado las tendencias pasadas y previstas de las temperaturas medias bajo cubierta de febrero a marzo, que influyen en la aceleración del inicio de la vegetación una vez cubierta la necesidad de frío de las plantas.

En la Figura 20 se muestra la evolución de las temperaturas de los meses de febrero y marzo medidas bajo abrigo en Agen.

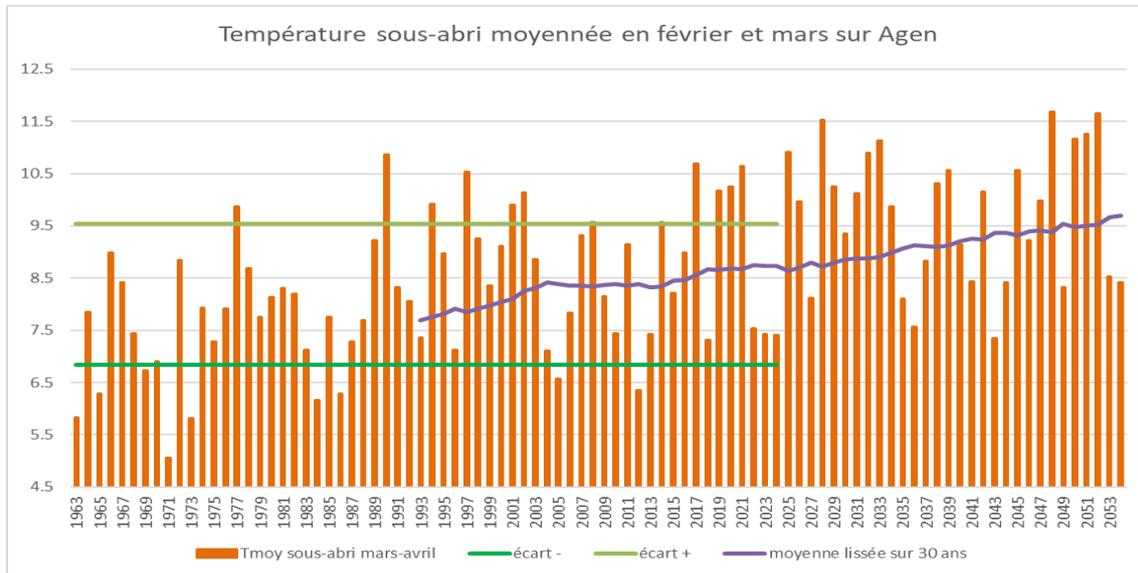


Figura 20.- Evolución pasada y futura de la temperatura media bajo abrigo en Agen para los meses de febrero y marzo.

La variabilidad es alta, con algunos años registrando menos de 6,5°C y otros más de 9,5°C. La temperatura normal en 1993 fue de 7,6°C, aumentando a casi 8,5°C en 2000 y superando este umbral en 2017. Según la proyección de +1,8°C, esta media se elevaría a 9,5°C antes de la década de 2050, condiciones que efectivamente provocaron el adelanto de 2021 y la posterior helada de principios de abril.

Se ha repetido el mismo análisis con la hipótesis de que el calentamiento continúa al ritmo actual de 0,9°C cada diez años, es decir, 2,7°C adicionales de aquí a 2053. La Figura 21 muestra las tendencias pasadas y futuras con este aumento de 2,7°C de la temperatura media anual en Agen medida bajo abrigo.

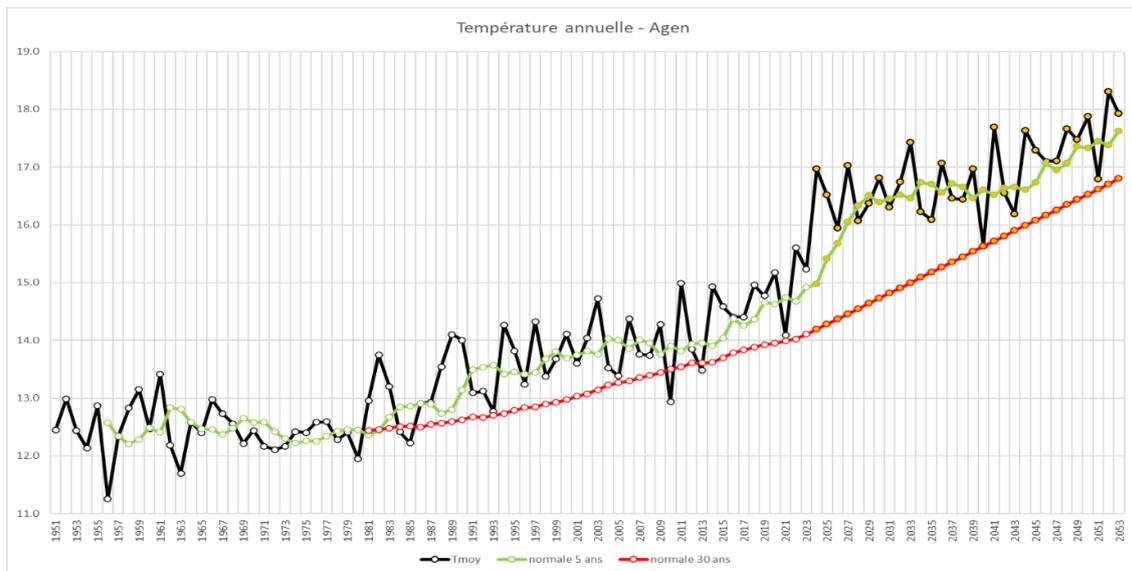


Figura 21.- Evolución pasada y futura, con un aumento de 2,7°C en los próximos 30 años, de la temperatura media anual en Agen medida bajo abrigo (en negro), la media de 5 años (en verde) y la normal en rojo.

La evolución parece poco realista y, sin embargo, es la traducción justa de lo que experimentamos entre 1994 y 2023, a lo que añadimos un aumento de 0,9°C cada diez años, tal como venimos experimentando desde hace unos diez años. En estas condiciones, la brecha entre lo que hemos vivido y lo que viviremos alcanza casi los 6°C, lo que aumentará las necesidades de agua y acelerará el inicio más temprano de la vegetación.

Por tanto, el número de días de heladas entre marzo y mayo debería disminuir significativamente sin desaparecer por completo. Imaginamos que los cultivos adaptados tendrán menos necesidad de frío, lo que les permitirá comenzar a crecer antes, en febrero y principios de marzo, haciéndolos más vulnerables a las olas de frío durante estos períodos, mientras que hoy estas plantas todavía están en estado latente en ese periodo y pueden resistir temperaturas incluso por debajo de -10°C.

Para concluir imaginamos que el agua será el factor de adaptación necesario porque en primavera no se debe limitar. Asimismo, las soluciones de control activas o pasivas basadas en agua nos parecen recomendables principalmente por su eficacia y facilidad de implementación en un contexto de elevados costes laborales y energéticos. Las inversiones realizadas en los próximos años para garantizar esta protección basada en el agua se utilizarán sin duda para apoyar los cultivos en la temporada de verano, cuando las olas de calor serán más frecuentes y donde, también en este caso, el agua será un medio sostenible de adaptación. La prueba de este riesgo futuro de olas de calor se confirma en este último gráfico (Figura 22), que presenta la evolución del número de días con máximas por encima de 35°C (medidas bajo cubierta) en Agen y la proyección de futuro hasta 2053.

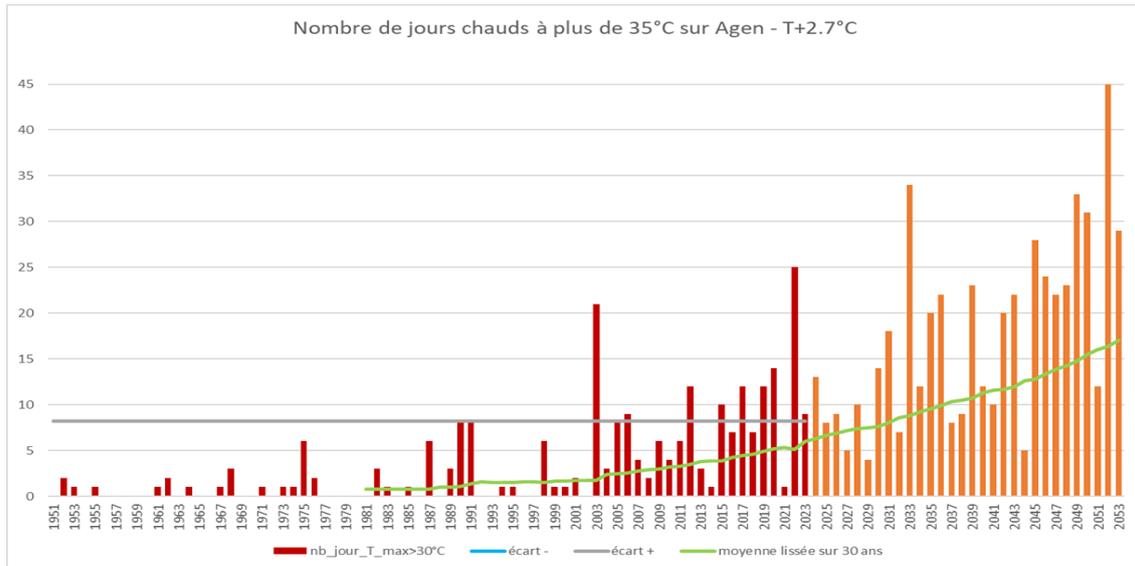


Figura 22.- Evolución pasada y futura, con un aumento de 2,7°C en los próximos 30 años, del número de días en Agen con más de 35°C (medidos bajo abrigo).

El verano de 2003, que sigue siendo uno de los más mortíferos en Francia debido a la ola de calor, ya ha sido superado por el verano seco de 2022. Se prevé que el umbral de 20 días al año de canícula se alcance regularmente a partir de 2035 y sea superado ampliamente alrededor de 2050. Esto aumentará las necesidades de agua de los cultivos en un factor de al menos 0,5, aumentando las necesidades de riego de los manzanos de los 2500 m³/ha actuales a casi 4000 m³/ha en 2050.

B.3.2. Dordoña. Climatología y proyección de las heladas y temperaturas

La evolución de las temperaturas y los días de heladas en la Dordoña en los últimos 30 años refleja el cambio climático global y regional. La Dordoña, situada en el suroeste de Francia, experimenta importantes variaciones climáticas que repercuten notablemente en el medio ambiente, la agricultura y los modos de vida locales.

Evolución de las temperaturas

En las tres últimas décadas, las temperaturas medias de la Dordoña han mostrado una tendencia al alza. Este aumento de las temperaturas medias anuales es coherente con el calentamiento global observado en todo el mundo. Los veranos son cada vez más calurosos, con olas de calor más frecuentes e intensas. Los inviernos, en cambio, tienden a ser más suaves, lo que reduce el número de días de heladas.

Días de helada

Los días con heladas, definidos como aquellos en los que la temperatura mínima desciende por debajo de 0 °C, están disminuyendo. Esta reducción es consecuencia directa del aumento de las temperaturas invernales. Un menor número de días de heladas puede tener efectos diversos en la región. Por ejemplo, puede prolongar los periodos de crecimiento de ciertos cultivos, pero también puede aumentar la vulnerabilidad de las plantas a plagas y enfermedades que ya no se ven frenadas por las bajas temperaturas.

Comparación con los valores climáticos normales

Para evaluar el alcance de estos cambios, es esencial comparar los datos actuales con los valores climáticos normales de los últimos 30 años. Las normales climáticas son medias calculadas sobre un periodo de 30 años, que suavizan las variaciones anuales y proporcionan una referencia estable para medir las anomalías climáticas.

Implicaciones

El aumento de las temperaturas y la disminución de los días de heladas tienen importantes repercusiones en varios aspectos de la vida en la Dordoña:

- Agricultura: los cambios de temperatura pueden afectar a los ciclos de crecimiento de los cultivos, a la distribución de las especies agrícolas y a la gestión de los recursos hídricos.
- Biodiversidad: Los cambios climáticos pueden provocar el desplazamiento de especies, alterando los ecosistemas locales.
- Salud: El aumento de las temperaturas puede incrementar los riesgos para la salud, sobre todo al aumentar la frecuencia de las olas de calor.

En conclusión, la evolución de las temperaturas y los días de heladas en Dordoña son indicadores clave del impacto del cambio climático en la región. Comprender estas tendencias es crucial para adaptarse y mitigar los posibles efectos negativos sobre el medio ambiente y la sociedad.

Previsiones de temperatura para la Dordoña

Las proyecciones climáticas para la Dordoña, como para muchas otras regiones del mundo, indican una tendencia continuada al aumento de las temperaturas en las próximas décadas. Estas proyecciones se basan en diversos escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero elaborados por organismos como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

Aumento de las temperaturas medias

Los modelos climáticos sugieren que las temperaturas medias anuales en la Dordoña podrían aumentar entre 2°C y 4 °C de aquí a finales de siglo, en función del escenario de emisiones (Figura 23). Los veranos se verán especialmente afectados por este aumento, y es probable que las temperaturas máximas estivales aumenten aún más. Las olas de calor serán más frecuentes e intensas, lo que prolongará los periodos de calor extremo y aumentará los riesgos para la salud pública y la agricultura.

Igualmente, las temperaturas mínimas mostrarán un aumento de 0,95°C en 2050 y de 2,94°C en 2100 con respecto a la mediana del periodo 1985-2020 (Figura 24).

Température moyenne annuelle (°C)

RCP 8.5

Moyenne des températures entre le 1 janvier et le 31 décembre

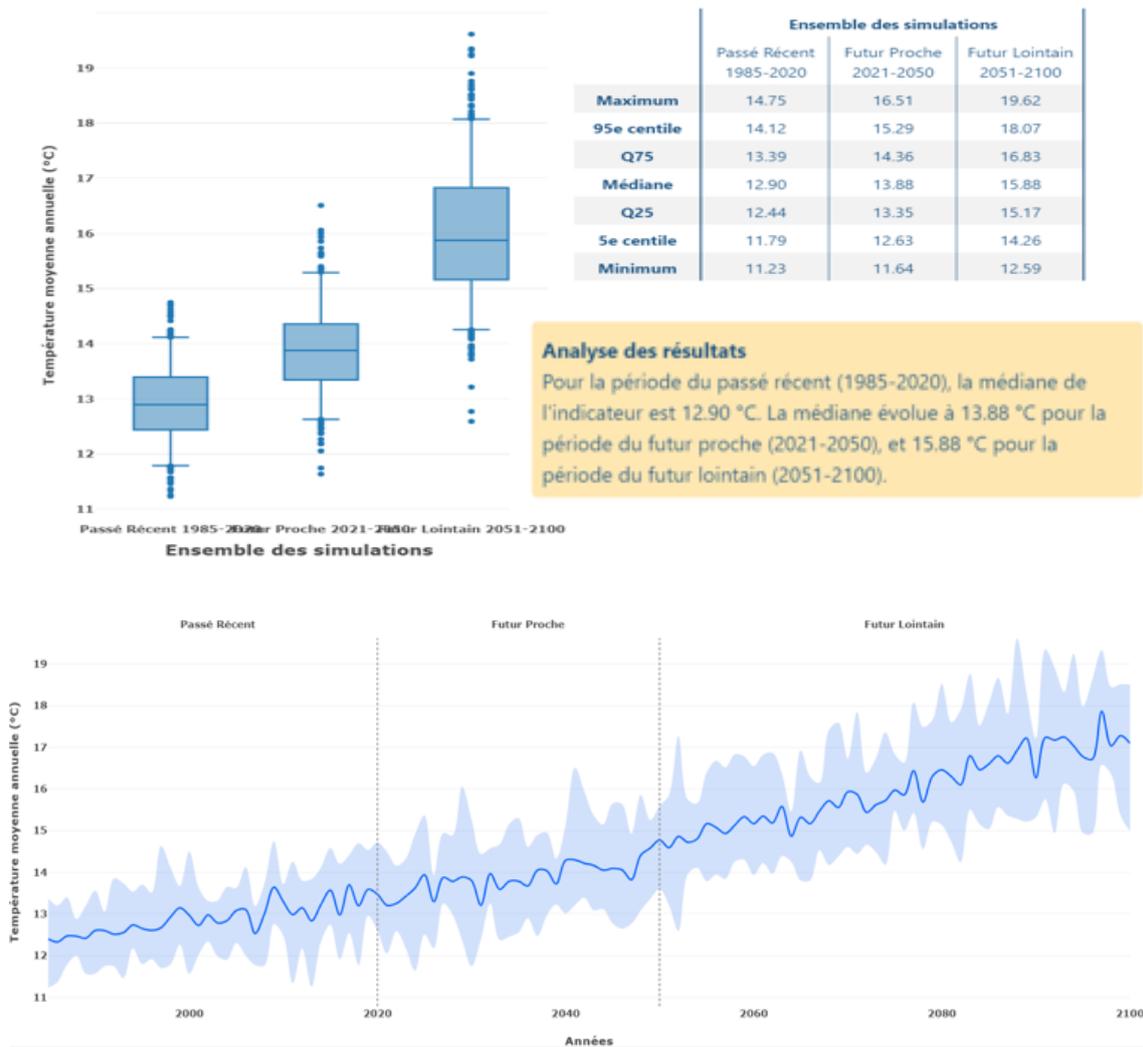


Figura 23.- Evolución de la temperatura media anual desde 1985 y previsión a corto y largo plazo en un escenario de cambio climático RCP8.5.

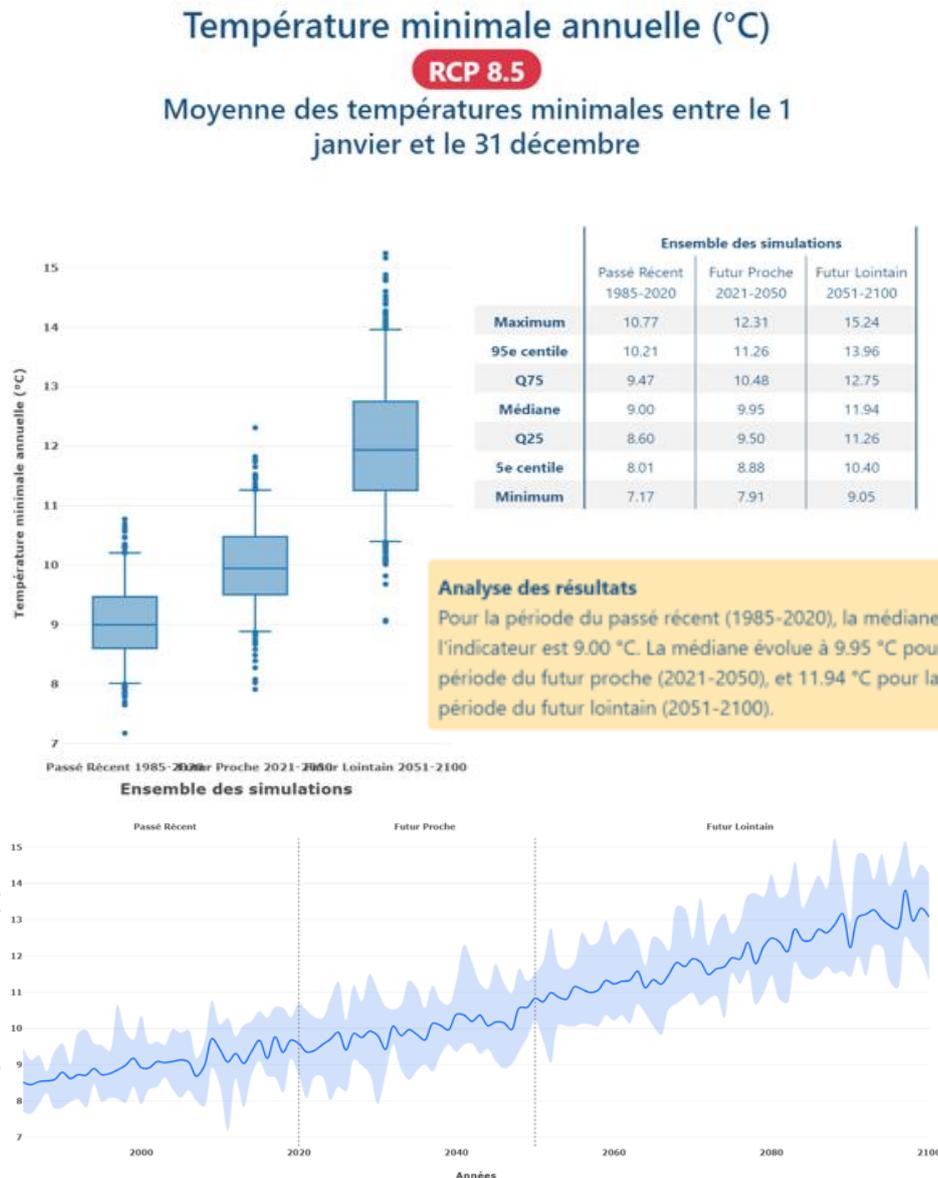


Figura 24.- Evolución de la temperatura mínima anual (media de temperaturas mínimas diarias) desde 1985 y previsión a corto y largo plazo en un escenario de cambio climático RCP8.5.

Reducción del número de días de heladas

Al mismo tiempo, el número de días de heladas en la Dordoña debería seguir disminuyendo (Figura 25) Según las proyecciones climáticas:

- En 2050, el número de días de helada podría reducirse entre un 30% y un 50% con respecto a los niveles actuales.
- De aquí a 2100, los días de helada podrían llegar a ser raros, sobre todo en escenarios con elevadas emisiones de gases de efecto invernadero. Es posible que algunos años sólo haya unos pocos días de heladas, o ninguno, en algunas zonas de la Dordoña.

Nombre de jours de gel RCP 8.5 Dénombrement des jours durant lesquels la température minimale est en dessous de 0 °C entre le 1 mars et le 31 mai

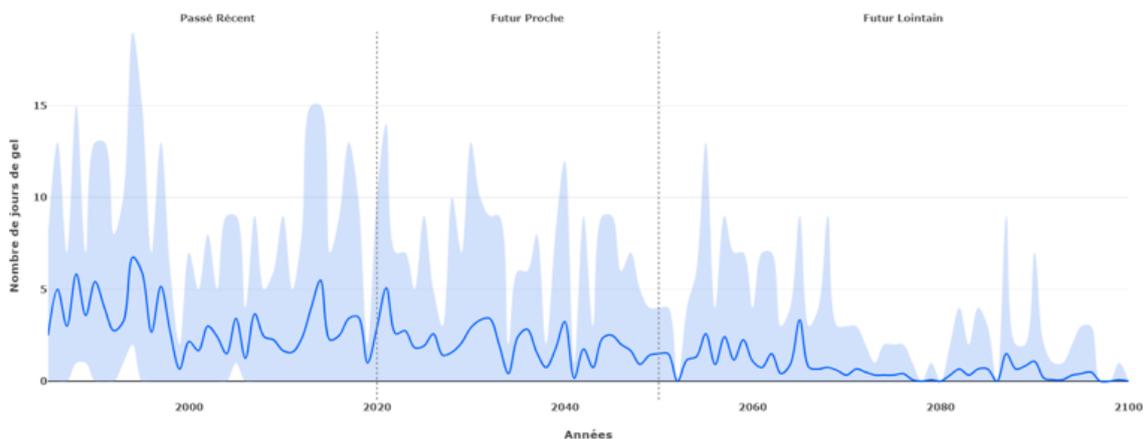
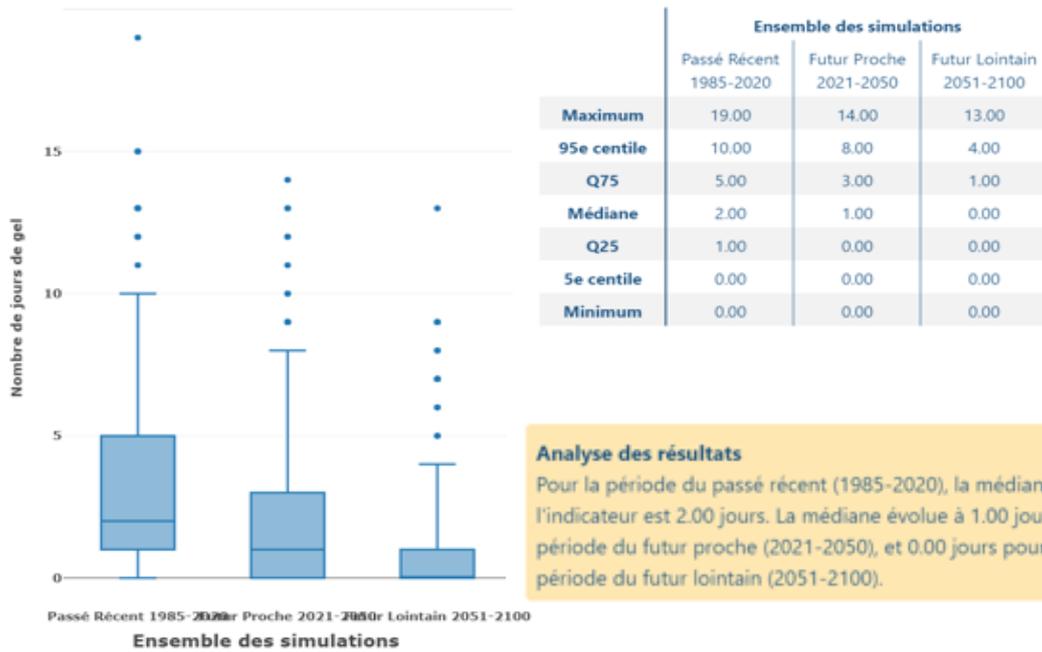


Figura 25.- Evolución del número de días de helada (Temperatura mínima inferior a 0°C) entre marzo y mayo desde 1985 y previsión a corto y largo plazo en un escenario de cambio climático RCP8.5.

Fecha de la última helada

Del mismo modo, la fecha de la última helada se adelantaría en 10 días en 2050 y en prácticamente un mes en 2100 con respecto al periodo 1985-2020 (Figura 26).

Dernier jour de gel RCP 8.5

Dernier jour où la température minimale est en dessous de 0 °C entre le 1 janvier et le 31 mai

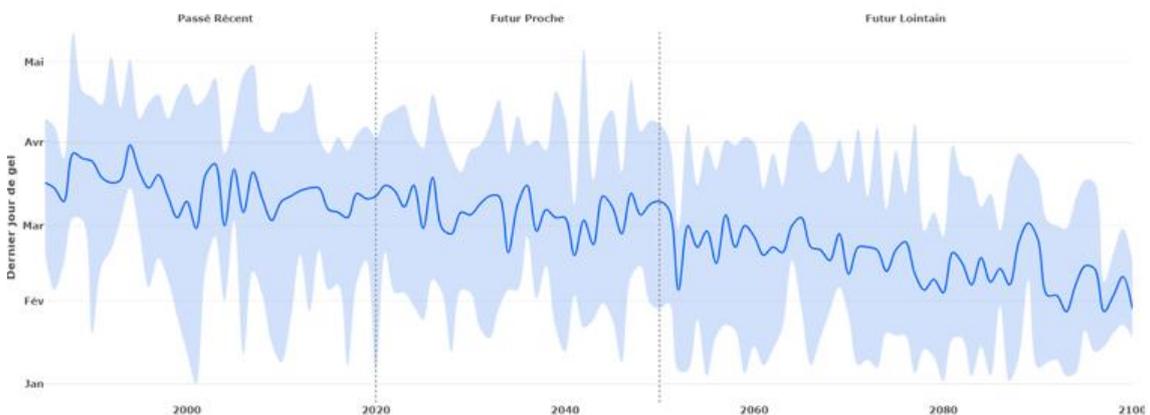
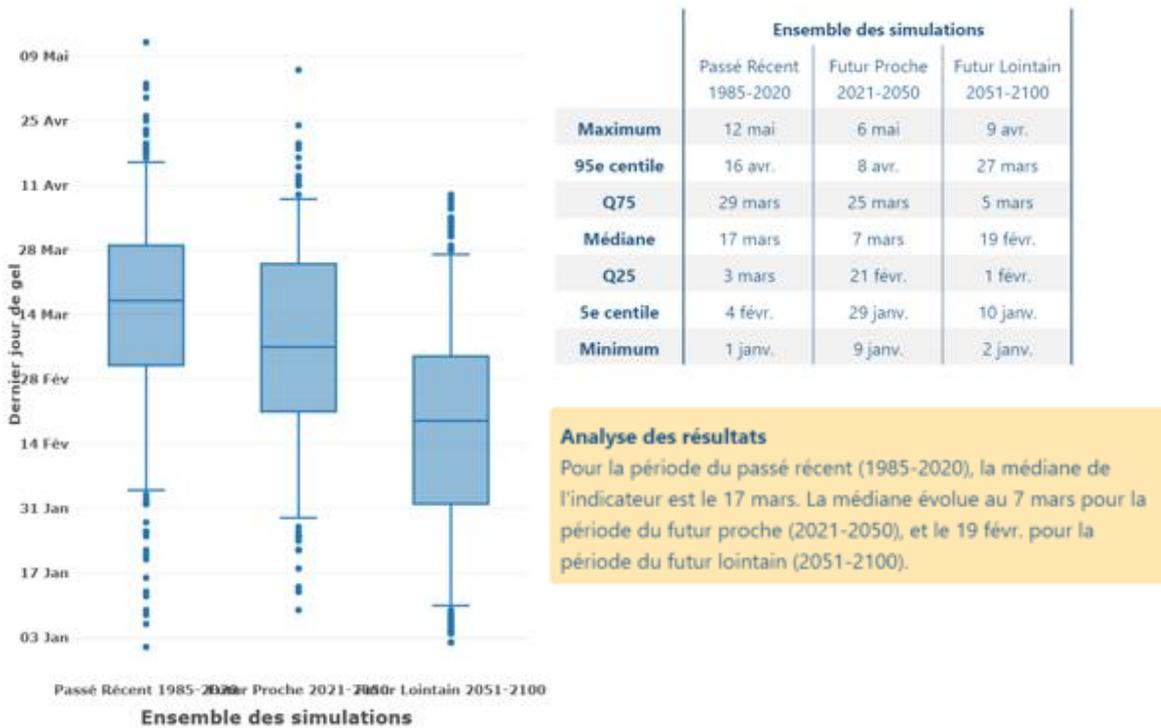


Figura 26.- Evolución del último de helada (Temperatura mínima inferior a 0°C) entre enero y mayo desde 1985 y previsión a corto y largo plazo en un escenario de cambio climático RCP8.5.

B.3.3. El castaño. Efectos de la climatología

Desde hace varios años, las fechas de las principales etapas de desarrollo del castaño (brotación, floración, maduración del fruto) se han adelantado varios días o incluso semanas. En casi 10 años, las variedades Bétizac y Marigoule han adelantado su brotación unos diez días (Mouravy, 2021).

Los castaños corren el riesgo de sufrir heladas primaverales desde principios de marzo hasta mediados de mayo. Los estados fenológicos potencialmente sensibles a las heladas en esta época son los estados B (código BBCH 07), C (código BBCH 09) y D (código BBCH 11), cuyos umbrales de sensibilidad se sitúan respectivamente en -8°C , -3°C y -2°C (Osaer et al, 1998). Así pues, las heladas primaverales pueden dañar las yemas apicales de las ramitas y las yemas de los frutos. Este riesgo es aún mayor en el contexto del cambio climático, que afecta a la precocidad de los castaños, sobre todo en los lugares más soleados y orientados al suroeste (Lheureux, 2023).

Los efectos sobre la producción dependen de las variedades. Una helada primaveral puede provocar la anulación de la producción de la variedad Marigoule o una reducción parcial de la producción de las variedades Bouche de Bétizac o Bellefer. En cambio, algunas variedades de *Castanea sativa* brotan tarde, lo que limita el riesgo de heladas primaverales (L'heureux, 2023). Además, el portainjerto puede tener o no un efecto de sensibilidad sobre la variedad. Marsol (CA 07) no induce sensibilidad a las heladas, mientras que Marlhac (CA 118) y Marigoule inducen sensibilidad a la variedad (Fauriel, 2021).

También cabe mencionar el trabajo de Schaberg et al (2022). Estos autores estudiaron la diferencia de sensibilidad a las heladas de varios cultivares de castaño americano (*Castanea dentata*) y demostraron que existe una diferencia entre las genéticas. Los castaños de regiones más cálidas son más productivos, pero más sensibles a las heladas primaverales, a diferencia de los castaños de regiones más frías. Esto podría significar que la protección contra el frío puede ir en detrimento de un mayor potencial de crecimiento. Sin embargo, los autores señalan que, a pesar de la influencia negativa de las heladas sobre el crecimiento, la productividad global de los árboles fue excepcional, incluso en el límite septentrional del área de distribución de la especie, siempre que la disponibilidad de agua en el suelo fuera adecuada.

Por último, cabe señalar que algunos autores (Jones et al., 1980) han mostrado una correlación positiva entre los daños causados por las heladas y los causados por la enfermedad de la tinta (*Endothia parasitica*).

En España se han realizado trabajos (Diaz et al., 2022) para medir la resistencia de las poblaciones de castaño silvestre (*Castanea sativa*) a las heladas primaverales e invernales. Las diferencias entre poblaciones en cuanto a daños por heladas fueron muy significativas, con un resultado similar al de los americanos: las medias poblacionales estaban estrechamente correlacionadas con las condiciones de helada a las que estaban sometidos los progenitores, poniendo de manifiesto una forma de adaptación genética a este fenómeno.

B.4. Portugal

B.4.1. Nordeste de Portugal. Climatología y proyección de las heladas y temperaturas

B.4.1.1. Introducción

La aparición de heladas en el nordeste de Portugal durante la primavera, cuando la mayoría de los cultivos se encuentran en un estado de desarrollo muy sensible a las bajas temperaturas, suele causar daños importantes a la agricultura. En otoño, las heladas tempranas, cuando se producen antes de la cosecha, también causan daños. Los ingresos de los agricultores se ven gravemente afectados y la falta de estabilización de la producción también tiene consecuencias para las empresas y cooperativas del sector. En la región de Trás-os-Montes, situada en el nordeste de Portugal, las heladas son una de las principales causas de disminución del rendimiento de cultivos importantes como manzanos, cerezos, almendros y vides. Además de reducir la producción, las heladas provocan deformaciones y otros defectos en los frutos, reduciendo en consecuencia su valor comercial.

B.4.1.2. Heladas

El clima del nordeste de Portugal se caracteriza por la migración hacia el norte del anticiclón de las Azores en verano y hacia el sur en invierno. Esta región es atravesada frecuentemente, sobre todo durante el invierno, por depresiones que provocan importantes fluctuaciones de la temperatura del aire y de las precipitaciones y cuyo efecto se ve reforzado a veces por la trayectoria de masas de aire de orígenes muy diferentes. Bajo la influencia de estas condiciones, se origina una gran variedad de circulaciones de mesoescala que, a su vez, contribuyen a un patrón diverso de variabilidad de la temperatura del aire.

La aparición de heladas en una región está fuertemente determinada por la situación sinóptica existente. Por lo tanto, el análisis de las situaciones sinópticas en las que se producen heladas en una región determinada tiene una importancia fundamental para el estudio de la climatología de las heladas. La Figura 27 muestra la frecuencia relativa de aparición de las diferentes masas de aire en la región de Trás-os-Montes durante el periodo primaveral.

La situación sinóptica que determina la invasión de la masa de aire frío polar continental (Pck) en el nordeste de Portugal está caracterizada por un anticiclón situado en el centro o norte de Europa, o por el anticiclón de las Azores cuando se eleva hacia el norte y por la acción conjunta de una vaguada de depresión que se establece en la cuenca mediterránea. La advección de esta masa de aire suele ir acompañada de vientos moderados a fuertes y muy secos. Es su acción deshidratante combinada con las bajas temperaturas lo que da lugar a las heladas de advección en primavera. La Figura 27 muestra que la masa de aire frío polar continental (Pck), aunque poco frecuente, se produce entre febrero y mayo.

La masa de aire frío polar marítima (Pmk) se produce cuando es transportada por la acción conjunta del anticiclón de las Azores, que cresta hacia el norte, y la depresión situada en la zona de las Islas Británicas. Esta masa de aire invade la región con bastante frecuencia en abril y mayo y es responsable de la aparición de heladas tardías (Gonçalves, 1985a). La masa de aire polar marítima fría (Pmk) se produce todos los meses y es la segunda más frecuente después de la masa de aire polar marítima cálida (Pmw).

Las heladas por advección en la región de Trás-os-Montes ocurren predominantemente bajo la influencia de las masas de aire polar continental frío y polar marítimo frío, y ocasionalmente pueden ocurrir bajo la influencia de una masa de aire polar continental cálido (Gonçalves, 1985).

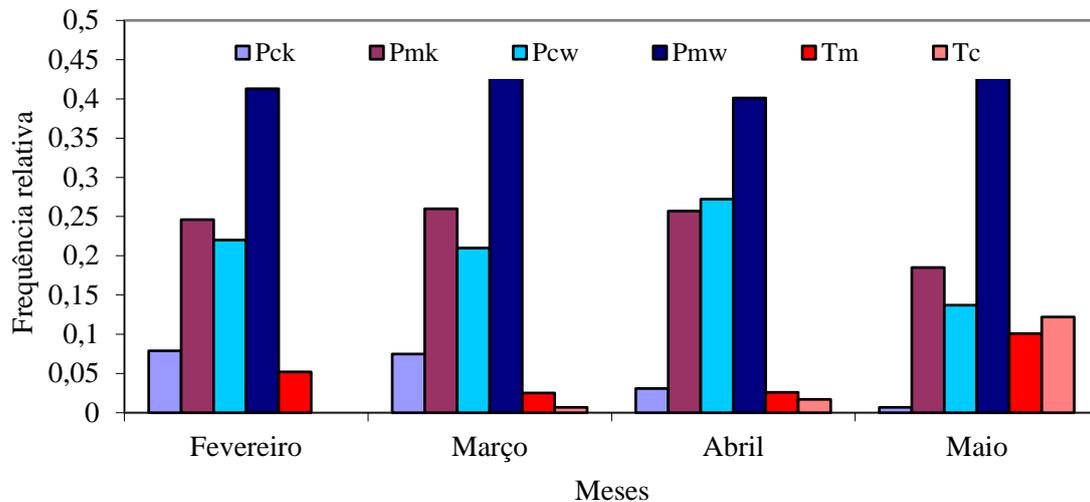


Figura 27.- Frecuencia de aparición de las masas de aire Polar Continental Frío (Pck), Polar Marítimo Frío (Pmk), Polar Continental Cálido (Pcw), Polar Marítimo Cálido (Pmw), Tropical Marítimo (Tm) y Tropical Continental (Tc) en Bragança.

La masa de aire polar continental cálido suele ser el resultado de la transformación del aire polar continental frío, cuando el anticiclón del centro de Europa cresta sobre el norte de África, transportando en consecuencia aire polar profundamente modificado, pero todavía con las características del aire polar. Esta masa de aire es responsable de temperaturas máximas relativamente altas en los meses de invierno, aunque las temperaturas mínimas pueden descender por debajo de 0°C en febrero y marzo y acercarse a 0°C en abril. Esta masa de aire también puede ser responsable de la aparición de heladas tardías en situaciones topográficas favorables.

B.4.1.3. Temperaturas

La Figura 28 muestra la evolución de la temperatura media anual en Bragança en los últimos 72 años (1950-2022). Se observa una tendencia al alza de la temperatura desde los años 70. Si consideramos la media móvil de 5 años, podemos ver que este aumento es de alrededor de 2°C.

Gonçalves et al. (2019) analizaron las series de temperaturas medias, máximas y mínimas en Bragança y encontraron una tendencia al alza, particularmente en el trimestre de primavera, con valores de 0,6°C/década y 0,8°C/década, respectivamente para la temperatura media y la temperatura máxima. En el análisis mensual, destacan los meses de marzo, abril, mayo y junio, todos ellos con tendencias crecientes en la temperatura media y la temperatura máxima de más de medio grado centígrado por década. Entre ellos, mayo y junio son los meses con la tendencia al alza más significativa, igual o superior a 0,7°C/década. Esta tendencia alcanza valores máximos de 1,0°C y 0,9°C/década para la temperatura máxima en mayo y junio respectivamente. La tendencia al alza de la temperatura media mensual parece deberse al aumento de las temperaturas máximas, ya que las tendencias de la temperatura mínima para los mismos meses son siempre inferiores a 0,4°C/década.

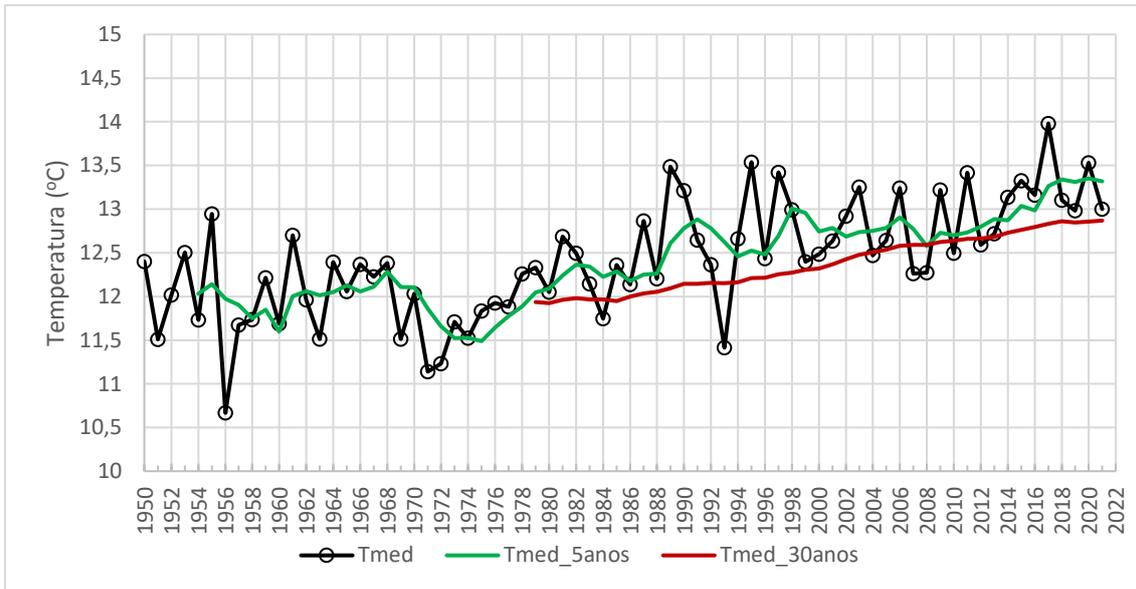


Figura 28.- Evolución de la temperatura media anual en la Estación Meteorológica de Bragança (Portugal) en el periodo 1950-2022. Las líneas roja y verde representan las medias móviles de 30 y 5 años respectivamente.

La evolución de la temperatura media en el periodo febrero-marzo (1950-2022) muestra una tendencia ascendente (Figura 29). Gonçalves et al. (2019) concluyeron que esta tendencia en el periodo 1973-2012 se debe principalmente al aumento de la temperatura máxima en esos meses (0,5 y 0,7 °C/década en febrero y marzo respectivamente) y menos al aumento de la temperatura mínima (-0,3°C y 0,2°C/década respectivamente).

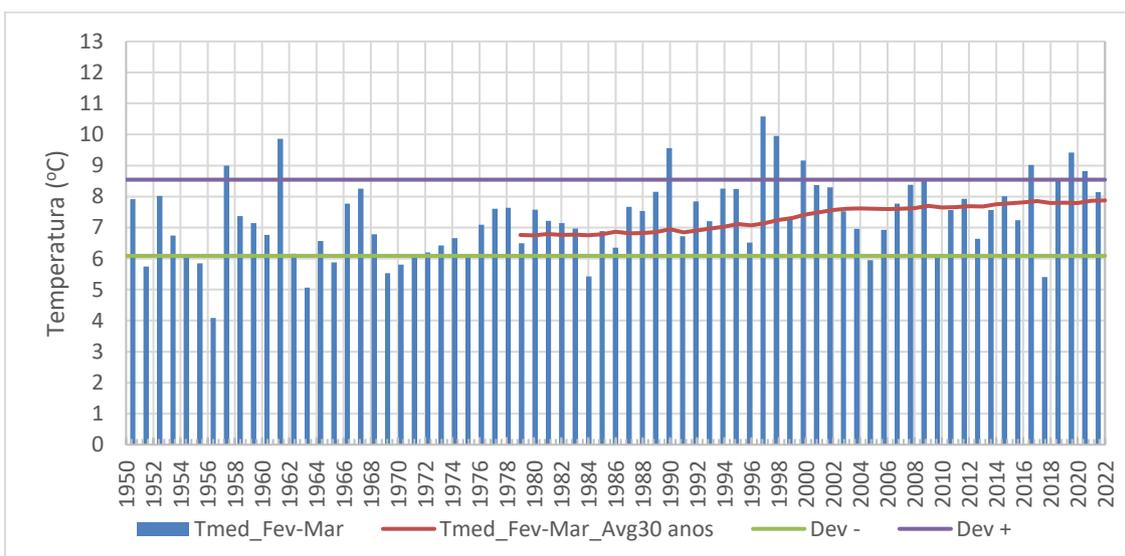


Figura 29.- Evolución de la temperatura media en los meses de febrero - marzo en la Estación Meteorológica de Bragança (Portugal) en el periodo 1950-2022. Las líneas roja y verde representan las medias móviles de 30 y 5 años respectivamente.

La evolución de la temperatura mínima absoluta en abril muestra una tendencia al alza, especialmente en las dos últimas décadas (Figura 30). Si se observa la media móvil de 30 años, se aprecia un aumento de aproximadamente 1°C al comparar la media de 1950-1979 con la de 1993-2022.

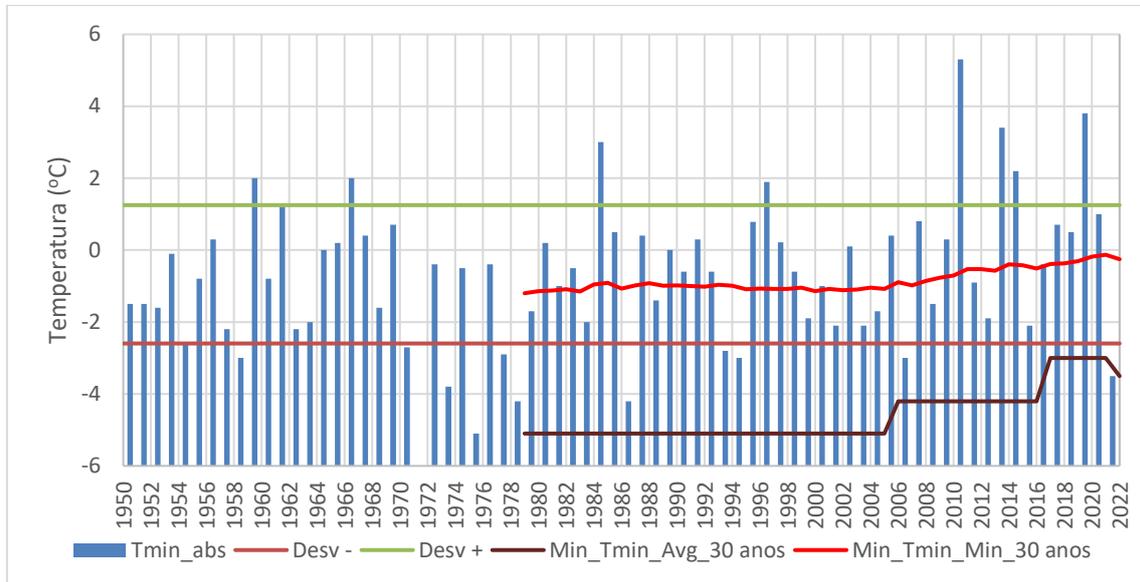


Figura 30.- Evolución de la temperatura mínima absoluta en abril en la Estación Meteorológica de Bragança (Portugal) en el periodo 1950-2022. Las columnas representan la temperatura mínima absoluta, la línea roja representa la media móvil (30 años) y la línea negra representa el mínimo de las temperaturas mínimas absolutas de los 30 años anteriores.

La ocurrencia de heladas en el nordeste de Portugal, a pesar de la gran variabilidad interanual, ha ido disminuyendo en las últimas décadas (Figura 31). Esta tendencia a la baja ha sido especialmente marcada en la última década (2012-2022).

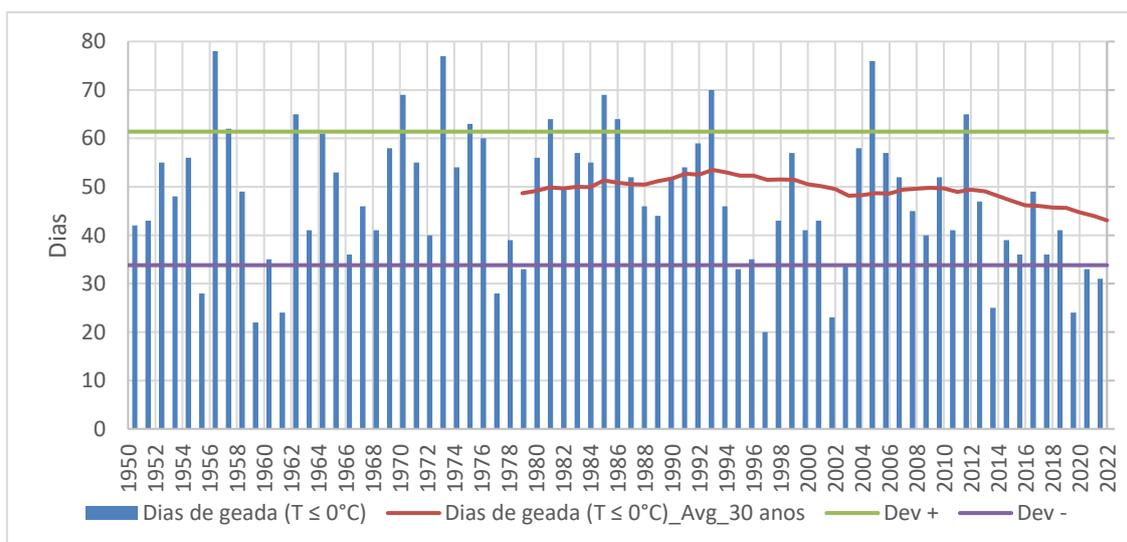


Figura 31.- Evolución del número de días de helada ($T \leq 0^{\circ}\text{C}$) en el periodo 1950-2022. La línea roja representa la media móvil de 30 años.

En el mes de abril también se ha observado una tendencia a la baja en la aparición de heladas (Figura 32). El análisis de la serie de temperaturas mínimas muestra que, además de disminuir la frecuencia de las heladas en abril, su gravedad también es menor.

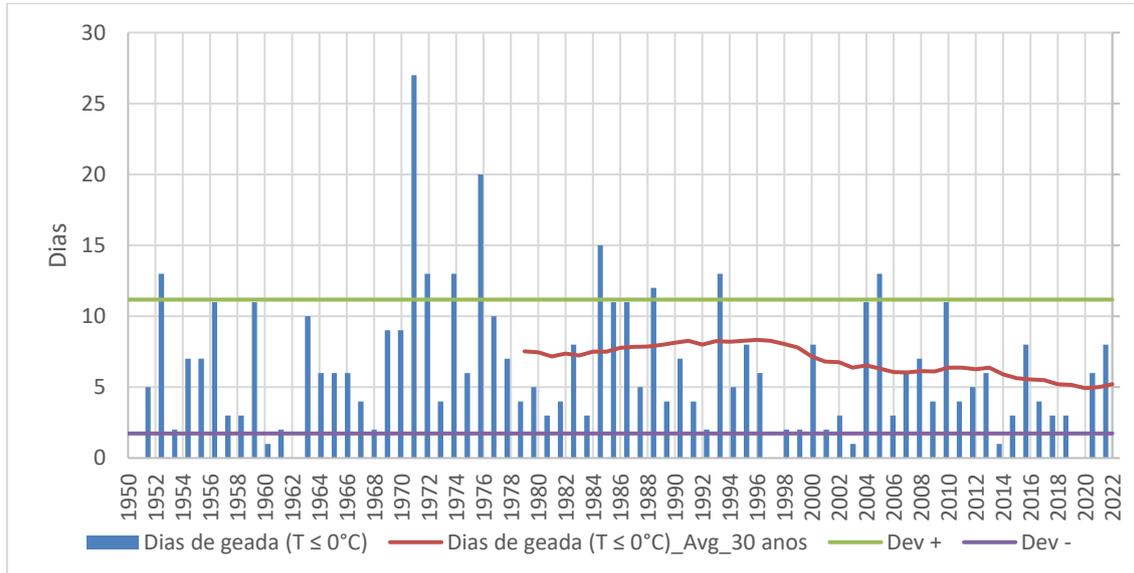


Figura 32.- Evolución del número de días de helada ($T \leq 0^{\circ}\text{C}$) en abril durante el periodo 1950-2022. La línea roja representa la media móvil de 30 años.

Analizando la serie de temperaturas de Bragança para el periodo 1950-2022, se observa, sobre todo en las últimas décadas, una tendencia al alza de la temperatura media anual. En cuanto a las temperaturas mínimas y la frecuencia de las heladas, se observa una tendencia al aumento de la temperatura mínima y a la disminución de la frecuencia de las heladas en los meses de primavera.

Las proyecciones climáticas (escenario RCP8.5) para el nordeste de Portugal estiman un aumento de la temperatura media anual de $2,2^{\circ}\text{C}$ a $2,9^{\circ}\text{C}$ (2041-2070) y de $4,0^{\circ}\text{C}$ a $4,8^{\circ}\text{C}$ (2071-2100). Para la primavera, se prevé un aumento de las temperaturas medias de $1,8^{\circ}\text{C}$ a $2,2^{\circ}\text{C}$ (2041-2070) y de $3,4^{\circ}\text{C}$ a $3,9^{\circ}\text{C}$ (2071-2100). En cuanto a la temperatura mínima en primavera, las previsiones son de un aumento de $1,8^{\circ}\text{C}$ (2041-2070) y de $3,2^{\circ}\text{C}$ - $3,3^{\circ}\text{C}$ (2071-2100). Las proyecciones relativas al número medio anual de días de heladas apuntan a una reducción de entre 26 y 54 días.

B.4.2. Centro de Portugal – Sub-Región Viseu Dão Lafões: Caracterización y tendencias del clima actual

B.4.2.1. Introducción

La Comunidad Intermunicipal Viseu Dão Lafões promovió la elaboración del Plan Intermunicipal de Adaptación al Cambio Climático de Viseu Dão Lafões (PIAAC Viseu Dão Lafões), con la implicación y el apoyo de los 14 municipios de esta subregión y de otras entidades públicas y privadas que operan en este territorio. Este Plan es la fuente de la información presentada en este documento, que se refiere a la caracterización y tendencias del clima actual para el territorio de Viseu Dão Lafões, a partir de la caracterización climática del periodo comprendido entre 1971 y 2017.

El objetivo principal del PIAAC de Viseu Dão Lafões es conocer mejor el fenómeno del cambio climático a nivel local y subregional y, al mismo tiempo, identificar las acciones necesarias para la adaptación de las poblaciones, organizaciones y servicios públicos y privados. También pretende promover la integración de la adaptación en la planificación intermunicipal y municipal y la creación de una cultura de cooperación en materia de adaptación, entre los distintos sectores y actores, reforzando la resiliencia territorial.

Según la clasificación de Köppen-Geiger, el clima de Viseu Dão Lafões es «Csb - clima templado con veranos suaves y secos». Sus características orográficas protegen a la subregión de los flujos húmedos procedentes del Atlántico, por lo que presenta características climáticas que reflejan cierta continentalidad.

Dado que los tipos de relieve, junto con las formas de ocupación y la ocupación del suelo, son aspectos determinantes para caracterizar y comprender las condiciones climáticas que afectan a Viseu Dão Lafões, se definieron las «Unidades Homogéneas de Respuesta Climática» (UHCR), comúnmente conocidas como climatopos, que, en términos metodológicos, permiten una lectura espacial del clima actual y futuro del territorio.

Las temperaturas medias de los meses más fríos (enero) y más cálidos (julio) oscilan entre 7,1°C y 21,7°C. La amplitud térmica anual se sitúa en torno a los 15°C. En cuanto a la termopluviometría, existen grandes contrastes entre los relieves occidentales (sierras de Caramulo y Gralheira), donde la precipitación media anual supera los 2.000 mm, mientras que al sureste de Viseu los totales varían entre 900 mm y 1.200 mm, con menos de 900 mm en la parte oriental de la subregión.

Sin embargo, se han producido algunos cambios en las tendencias. La temperatura media del aire muestra una tendencia al alza, que oscila entre +0,27°C/década y +0,36°C/década. Este aumento se debe principalmente a la subida de la temperatura media en primavera (entre 0,41 °C/década y 0,79 °C/década) y verano (entre +0,53 °C/década y +0,68 °C/década). En invierno y otoño, los cambios de temperatura son menos significativos. También se observa una tendencia al alza en los días muy calurosos (días con una temperatura máxima igual o superior a 35°C) y en los días de verano (días con una temperatura máxima igual o superior a 25°C).

En cuanto a las precipitaciones, la tendencia es a la disminución en verano y al aumento en otoño, aunque la expresión estadística no se observa en todas las URCH de la subregión. El número de días con precipitación (días con precipitación total igual o superior a 1 mm) tiende a aumentar en otros cuatro o cinco en otoño. En cuanto a los días con 10 mm o más de precipitación, se detectan tendencias significativas en verano (disminución) y otoño (aumento), aunque no se extienden a todo el territorio.

B.4.2.2. Escenarios Climáticos

La cenarización del clima es el resultado de la recopilación y el tratamiento de información sobre el clima futuro (proyecciones) a través de diferentes modelos y para diferentes escenarios climáticos globales, y constituye un importante apoyo para identificar posibles cambios en el clima futuro. Cabe destacar que un escenario climático es siempre una simulación numérica del clima futuro, basada en modelos de circulación general de la atmósfera y en la representación del sistema climático y sus subsistemas.

An-Gel Sudoe

Para realizar este ejercicio de proyección, utilizamos la información disponible en dos fuentes fundamentales, a saber, el INSTITUTO PORTUGUÉS DEL MAR Y DE LA ATMÓSFERA (Portal del Clima) y EURO-CORDEX (Coordinated Downscaling Experiment - European Domain).

Las proyecciones climáticas para mediados de siglo (2041-70) para el conjunto de Viseu Dão Lafões se muestran en la figura siguiente.

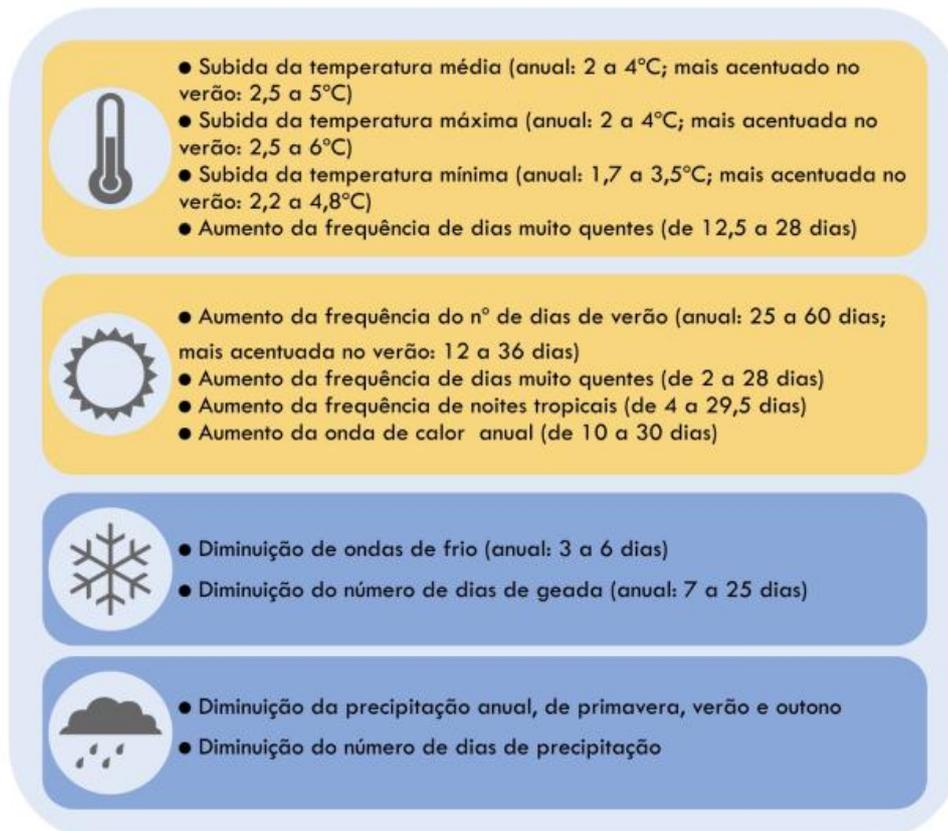


Figura - Escenarios climáticos para Viseu Dão Lafões (2041-2070)

B.5. Conclusiones

El efecto del cambio climático en el riesgo de heladas es todavía materia de estudio en diferentes regiones del mundo. En general, en todas las regiones se ha observado un aumento de la temperatura media, una disminución de los días de helada anuales y una menor incidencia de heladas en los meses de primavera. Sin embargo, también se ha observado muy claramente un adelanto en la brotación y en la fenología de todas las especies arbóreas que las convierte en mucho más sensibles ante episodios de heladas tardías.

Por tanto, es probable que por el efecto del calentamiento global se observe una disminución en el número de heladas primaverales, pero en el momento en que se produzcan podrán tener mucha más gravedad por la mayor cantidad de cultivos en estadio sensible que se encontraran en ese momento.

Referencias

- AEMET (2017). Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR5. NIPO: 014-17-010-8 <https://doi.org/10.31978/014-17-010-8> Madrid.
- AEMET (2021). 'Informe sobre el estado del clima de España de 2021. <https://doi.org/10.31978/666-22-006-X>. Madrid.
- Bednar-Friedl, B., R. Biesbroek, D.N. Schmidt, P. Alexander, K.Y. Børshheim, J. Carnicer, E. Georgopoulou, M. Haasnoot, G. Le Cozannet, P. Lionello, O. Lipka, C. Möllmann, V. Muccione, T. Mustonen, D. Piepenburg, and L. Whitmarsh, (2022): Europe. In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1817–1927, doi:10.1017/9781009325844.015.
- Copernicus Data Store (2024). <https://cds.climate.copernicus.eu/#!/home> Consulta el 16 de julio de 2024
- Copernicus Programme, The (2021). Late Spring Frost. European State of the Climate 2021 Summary
- García-Martín, A.; Paniagua, L.L.; Moral, F.J.; Rebollo, F.J.; Rozas, M.A. (2021). Spatiotemporal Analysis of the Frost Regime in the Iberian Peninsula in the Context of Climate Change (1975–2018). Sustainability, 13, 8491. <https://doi.org/10.3390/su13158491>
- Díaz, R., Johnsen, Ø.; Fernández-López, J. (2009). Variation in spring and autumn freezing resistance among and within Spanish wild populations of *Castanea sativa*. Annals of forest science, 66(7), 1-12.
- Fauriel, J. (2001). Le châtaignier en agriculture biologique. Techn'Itab arboriculture. 4p.
- Fu, Y.S.H.; Campioli, M.; Vitasse, Y.; De Boeck, H.J.; Van Den Berge, J.; AbdElgawad, H.; Asard, H.; Piao, S.; Deckmyn, G.; Janssens, I.A. (2014). Variation in leaf flushing date influences autumnal senescence and next year's flushing date in two temperate tree species. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 111, 7355–7360. <https://doi.org/10.1073/pnas.1321727111>
- García-Martín, A., Paniagua, L.L., Aguirado, C. and Guerra, E. (2023). Trends in minimum winter temperatures and date of the last spring frost in the main fruit-growing areas of Spain. Acta Hort. 1372, 215-222. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2023.1372.28>
- Huang, J.; Hitchcock, P., Maycock; A.C. et al. (2021). Northern hemisphere cold air outbreaks are more likely to be severe during weak polar vortex conditions. *Commun Earth Environ* 2, 147. <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00215-6>

- Jones, C., Griffin, G. J., & Elkins, J. R. (1980). Association of climatic stress with blight on Chinese chestnut in the eastern United States. *Plant Disease*, 64(11), 1001-1004.
- Lheureux, F. 2023. La châtaigne. Monographie. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, France. 334p.
- Mouravy, M. 2021. Le gel sur châtaignier – Sensibilités, physiologie et variétés. La journée de la châtaigne, Mazeyrolles, France.
- Leolini, L.; Moriondo, M.; Fila, G.; Costafreda-Aumedes, S.; Ferrise, R.; Bindi, M. (2018). Late spring frost impacts on future grapevine distribution in Europe, *Field Crops Research*, Volume 222, 2018, Pages 197-208, ISSN 0378-4290, <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.018>.
- Olschewski, P.; Diarra, M.; Dieng, B.; Moutahir, H.; Böker, B.; Haas, E.; Kunstmann, H.; Laux, P. (2024). Amplified potential for vegetation stress under climate-change-induced intensifying compound extreme events in the Greater Mediterranean Region. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 24, 1099–1134. <https://doi.org/10.5194/nhess-24-1099-2024>
- Osaer, A., P. Vaysse, J.F. Berthoumieu, A. Audubert et M. Trillot. (1998). Gel de printemps, protection des vergers. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, France. 151p.
- Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras), (2020). Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid.
- Schaberg, P. G. , Murakami, P. F. , Collins K. M. , Hansen C. F. , Hawley G. J. , Phenology, cold injury and growth of American chestnut in a Range-Wide provenance test, *Forest Ecology and Management*, Volume 513, 2022, 120178, ISSN 0378-1127, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120178>.
- Visor de escenarios de cambio climático. Proyecto AdaptateCCa (2024). <https://escenarios.adaptecca.es/info> . Consulta el 16 de julio de 2024
- Zohner, C.M.; Mo, L.; Renner, S.S.; Crowther, T.W. (2020). Late-spring frost risk between 1959 and 2017 decreased in North America but increased in Europe and Asia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* , 117, 12192–12200

C. Episodios de heladas relevantes en los últimos años

En este apartado se describen los episodios de heladas más relevantes que se han producido en los últimos años en las diferentes regiones del proyecto. En el caso de las regiones españolas se añade en anejos específicos los estudios de probabilidad de heladas en las diversas zonas

C.1. España.

C.1.1. Región de Murcia

En la Región de Murcia se han producido diversos episodios relevantes de heladas en los últimos años:

Fecha: 23-24 de enero de 2023

- o Tipo de helada: Ola de frío polar
- o Temperaturas mínimas alcanzadas: -4°C en Cieza, en la Vega Alta y en las proximidades de Calasparra, donde se concentra la mayor producción regional de fruta de hueso extra tempranos. En áreas del Altiplano y el Noroeste, los registros fueron aún más bajos, con hasta -6°C y -7°C , aunque este tipo de frutales extra tempranos son casi inexistentes en estas zonas.
- o Daños estimados a diferentes cultivos: 40 % la floración afectada. Las variedades de frutales de hueso más afectadas son las variedades extras tempranas de melocotón y nectarina, así como alguna más de albaricoque y de paraguayos.
- o Sistemas de defensa utilizados: Quema de parafina, la generación de micro lluvia artificial y aerogeneradores.

Fecha: 10-12 de enero de 2019

- o Tipo de helada: Ola de frío polar procedente del Norte de Europa
- o Temperaturas mínimas alcanzadas: entre $-7,9^{\circ}\text{C}$ y $-6,2^{\circ}\text{C}$ en la zona del Altiplano, Caravaca y Jumilla. Murcia y Cartagena entre $-0,5^{\circ}\text{C}$ y -1°C .
- o Daños estimados a diferentes cultivos: Las variedades de frutales de hueso más afectadas son las variedades extras tempranas de melocotón y nectarina, así como alguna más de albaricoque y de paraguayos. Daños en cultivos de alcachofa, lechuga, coles y brócoli.
- o Sistemas de defensa utilizados: Quema de parafina, la generación de micro lluvia artificial y aerogeneradores, las mantas térmicas también salvaron algunas cosechas en Alhama de Murcia, aunque no pudieron evitar daños en varios cultivos de coles y brócoli.

Eventos de heladas entre 2004-2015

- o Tipo de helada: Ola de frío polar
- o En esta década otros eventos de "frío polar" han producido heladas que afectaron entre otros cultivos a los cítricos de la Región, las heladas más importantes, se han producido en los inviernos de 2004-05, 2010-11, 2011-2012 y 2014-15. En estos eventos, las temperaturas en las zonas citrícolas bajaron de los -3°C y causaron grandes pérdidas sobre todo en los limoneros, que es de las especies más sensible. Durante la campaña agrícola 2010-11, hubo cinco heladas, con temperaturas por debajo de -2°C . Durante la temporada 2011-12, las heladas se registraron durante los días 8 y 9 de febrero 2012, llegando a -4°C el día 8 en algunas zonas citrícolas y causando graves daños a los árboles y en la fruta, sobre todo en los limoneros jóvenes, las mínimas absolutas llegaron a -6°C el día 9, y en algunas

zonas permanecieron más de 10 horas por debajo de 0 ° C. En la campaña 2014-15, se registró una helada durante los días 29 de diciembre al 1 de enero, bajando las mínimas entre - 2°C a -5°C en las zonas citrícolas murcianas.

C.1.2. País Vasco

En el ámbito del País vasco, este proyecto se centra en la provincia de Álava. La provincia de Álava puede considerarse un compendio del País Vasco a nivel climático, con la salvedad de que el medio litoral no está presente. El País Vasco se encuentra situado dentro de la zona templada dominada por los Westerlies, en la franja meridional de los mismos. Forma parte de la ribera occidental del continente europeo, y su clima se ve influenciado por corrientes marinas cálidas y vientos del oeste. La conjunción de todos estos aspectos hace que su clima predominante se encuentre dirigido por los centros de acción atlánticos, mediterráneos y europeos, cuyo ritmo impone los tipos de tiempo característicos.

Dentro de la provincia de Álava se produce una transición latitudinal en su medio físico, desde un ambiente cantábrico hasta otro mediterráneo. Pero esta transición no abarca todo el territorio, sino que se limita a las comarcas centrales. Esta transformación no es en modo alguno gradual, sino que se desarrolla por medio de pequeños saltos bruscos, cambios de dirección, avances y retrocesos. El norte de la provincia de Álava (valles de Ayala y Aramayona) presenta un clima de tipo oceánico, con temperaturas moderadas a lo largo de todo el año (temperatura media anual de 13 °C, y oscilación térmica anual de 11°C. No obstante, la mayor parte del territorio alavés ofrece unas condiciones climáticas de transición entre el clima oceánico del norte y el mediterráneo continental del sur. De esta manera las temperaturas son más extremas que en la zona oceánica, con inviernos más fríos y veranos más cálidos, y con una temperatura media anual entre 11 y 12°C. La zona de la depresión del Ebro ocupada por la Rioja Alavesa en el extremo meridional de la provincia, se caracteriza por un clima con veranos secos y calurosos de tipo mediterráneo. El clima de esta zona se considera mediterráneo-continental, por las bajas temperaturas que se registran en los meses de invierno. La influencia oceánica es mucho menor que en la zona de transición, de manera que las oscilaciones térmicas interanuales son mayores.

La ocurrencia de heladas en Álava es habitual entre los meses de noviembre a abril, aunque tanto el periodo libre de heladas como la ocurrencia de las primeras heladas otoñales y últimas primaverales varía a lo largo de la superficie de la provincia. Teniendo en cuenta las características climáticas y las particularidades agronómicas de los cultivos más comunes de esta zona, resulta de especial relevancia la fecha en la que se producen estas primeras heladas de otoño y últimas de primavera. Así mismo en ocasiones se pueden llegar a producir daños derivados de temperaturas bajas extremas, pero normalmente estos picos de temperaturas mínimas acontecen en momentos en los que los cultivos ya sean leñosos o herbáceos se encuentran en parada invernal, de manera que los efectos derivados de estos eventos no son habitualmente significativos. Sin embargo, la primera helada de otoño dependiendo de la fecha en la que se produzca puede afectar de manera muy significativa a cultivos herbáceos extensivos como la colza, que ha de llegar a la parada invernal en estado de desarrollo de roseta para no verse afectada por temperaturas mínimas extremas. Y por otra parte las heladas primaverales pueden afectar de manera muy significativa a cultivos leñosos (como la vid) o herbáceos (como la colza), de manera que la determinación de la fecha en la que se produce la última helada primaveral resulta muy relevante.

Es por ello que en el anexo de este informe se presentan gráficas que permiten estimar las probabilidades de este tipo de heladas clave, y del periodo libre de heladas. La estimación de la probabilidad se ha realizado mediante funciones de probabilidad acumulada a partir de la

distribución normal de la fecha de la primera helada de otoño y la última de primavera (previo test de Kolmogorov-Smirnov), para certificar la normalidad de la distribución de fechas de helada). Estas gráficas fueron elaboradas a partir de series históricas (1971-2015) de 9 ubicaciones diferentes de la zona de estudio.

En el anexo se presentan también gráficas en las que se representa la duración (en minutos) y la temperatura mínima de las heladas acontecidas en estas localizaciones en el periodo (2004-2017).

En cuanto a heladas primaverales históricas en el viñedo de Rioja Alavesa, cabe destacar la ocurrida la madrugada del **16 de abril de 1999**, que heló prácticamente todas las viñas de la Denominación de Origen². Más recientemente, en la noche del **28 de abril de 2017** ocurrió otra helada que afectó principalmente a Rioja Alavesa y a Rioja Alta³. Este año 2024 también heló en las madrugadas del 17 y 18 de abril y han sido afectadas unas 1.186 ha de viñedo en Álava, lo cual corresponde a aproximadamente un 10% de la superficie de viña en Rioja Alavesa⁴. Aunque no se trata de una helada primaveral, hay que destacar las frías temperaturas del **mes de febrero de 1956** en que se produjeron 3 olas de frío seguidas. Durante este mes se helaron muchos pinares de la especie *Pinus Insignis*, tras un mes de enero muy templado en que los pinos ya estaban brotando en los valles centrales y orientales de Gipuzkoa. Otras especies frutales como higueras y nogales también se helaron, además de nabos (comunicación personal).

C.1.3. Lleida

Los episodios de heladas primaverales son frecuentes en la zona de Lleida y, por extensión, a otras zonas del Valle Medio del río Ebro (Aragón y Catalunya). En estas áreas los cultivos más afectados por estas heladas son los frutales y, en mucha menor medida, los viñedos.

La producción de fruta es una de las principales actividades agrarias en el valle del Ebro, tanto por su peso económico, por la superficie ocupada por los cultivos, por los puestos de trabajo generados y por su orientación exportadora.

Cataluña es el área más importante de producción de fruta dulce de España y, al mismo tiempo, es el noveno productor mundial de melocotón y nectarina, el decimotercero productor mundial de pera y el trigésimo séptimo de manzana. Según los últimos datos (2020) en Cataluña existen unas 44 mil hectáreas dedicadas a la fruta dulce donde se producen anualmente alrededor de 750.000 toneladas de melocotón y nectarina, manzana y pera, mayoritariamente.

Prácticamente todas las especies de estos grupos de cultivo son, en mayor o menor medida, sensibles a los efectos de las heladas primaverales que se producen a lo largo de los meses de marzo y abril, coincidiendo con el período de floración y cuajado de los frutos.

En los últimos años, con la presencia de inviernos más cálidos de lo que habitualmente se había observado, la plena floración se ha avanzado en la mayoría de los cultivos, llegando en algunos casos a hacerlo unos 5-10 días antes de las fechas medias históricas. Este hecho ha propiciado que las especies se encuentren más bien en estadios fenológicos más sensibles a efectos de las bajas temperaturas (por debajo de 0°C).

² [El daño producido por las heladas podría llevar a calificar la Rioja alavesa y la Ribera navarra zonas catastróficas | Noticias del País Vasco | EL PAÍS \(elpais.com\)](#)

³ <https://www.noticiasdealava.eus/alava/2017/05/12/helada-rioja-alavesa-fuera-fondo-1401561.html>

⁴ [Daños en Álava: Las últimas heladas afectan a 1.186 hectáreas de viñedo en Rioja Alavesa \(noticiasdealava.eus\)](#)

En el **año 2024 (23 y 24 de abril)** se produjo una helada de magnitud media que afectó principalmente a las zonas bajas, junto a los ríos, más proclives naturalmente a la incidencia de estos fenómenos alcanzando los -4°C en los puntos más desfavorables. La afectación fue variable según la situación de las parcelas y osciló entre el 15% y el 70 % de los cultivos frutales. Se da la circunstancia totalmente inusual, que en la semana previa (14 de abril)⁵ se alcanzaron máximas históricas de temperatura que llegaron a los 30°C en diversas estaciones. Debido a la fecha tan tardía en que se produjeron las heladas y el adelanto en la fenología de los cultivos, se produjeron daños importantes en algunas zonas de viña o de cereal donde no es habitual que se produzcan afectaciones.

El último episodio de heladas primaverales muy intensas se produjo entre los días **2 y 4 de abril del año 2022** provocando daños muy importantes y generalizados en la zona frutera del Valle del Ebro, en un amplio abanico de especies, incluso en algunas, como es el caso de la higuera, donde habitualmente no se producen este tipo de daños.

Según datos de Agroseguro⁶, en la zona de Aragón y Cataluña estaba afectada un 70% de la superficie de frutales asegurada (32.000 ha) con una previsión de indemnización de 245 Millones de euros.

La helada se inició el día 2 de abril con un fenómeno de advección de aire frío de origen polar con presencia de viento. Sin embargo, los daños más importantes se produjeron las noches del 3 y 4 de abril cuando el viento encalmó. A partir de este momento, con unas condiciones de acumulación de aire frío y cielos despejados, se produjeron heladas intensas de radiación con valores mínimos en torno a -6°C que causaron afectaciones muy severas a los cultivos frutales que se encontraban en fase de cuajado y fruto pequeño.

En el año **2021** se produjeron también heladas en algunas áreas de la zona frutícola de Lleida como consecuencia de una entrada de aire polar a principios del mes de **abril (días 5 y 6)**. En este caso, la afectación se concentró únicamente en las zonas más desfavorables (hondonadas) y los cultivos más sensibles como albaricoquero o almendro, produciéndose daños en estas zonas entre el 20 y 100%

De nuevo, este año se observó el patrón típico de heladas en el Valle del Ebro: Un anticiclón en el oeste de las islas británicas y un área de bajas presiones entre el golfo de Génova y los Alpes impulsan el viento del norte que provoca la llegada de aire muy frío de origen ártico al Valle del Ebro (Figura 33 y Figura 34).

⁵ Extensius.cat. Baixada de les temperatures i glaçades. com poden afectar al cereal d'hivern. 29 de abril de 2024 <https://extensius.cat/2024/04/29/baixada-de-les-temperatures-i-glacades-com-poden-afectar-al-cereal-dhivern/>

⁶ Joana, F.J. (2022) Valoració i evolució de les gelades. Jornada Tècnica Fira Agrària Sant Miquel; Lleida. https://ruralcat.gencat.cat/c/document_library/get_file?uuid=df71b476-7e22-48d2-88c1-ca0b27c3125f&groupId=20181

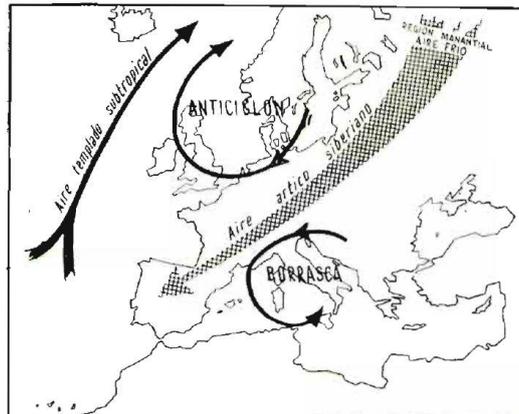


Figura 33.- Esquema de la circulación atmosférica en condiciones de helada en el Valle del Ebro. Fuente: Hojas divulgadoras (1962)

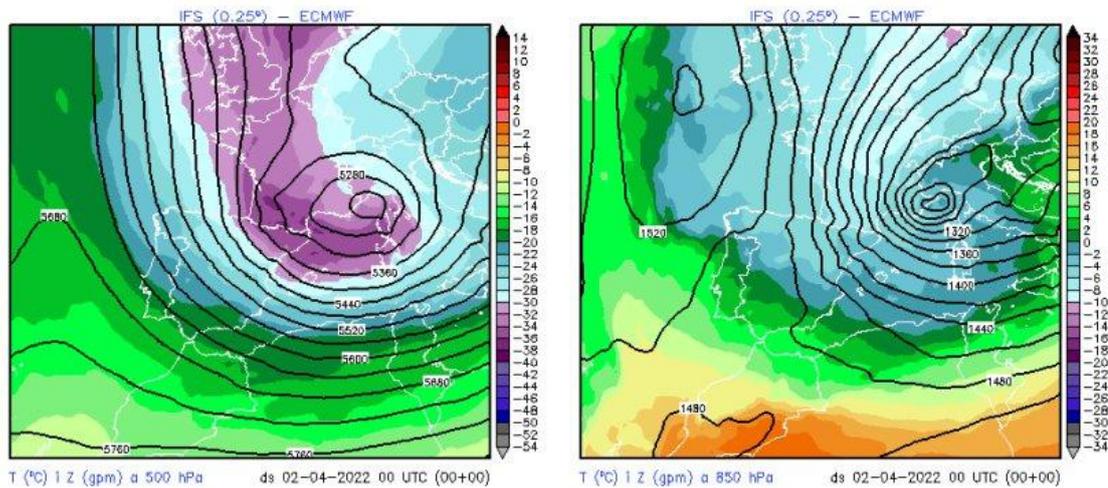


Figura 34.- Situación meteorológica previa a las heladas de abril de 2022. Izquierda: temperaturas a una altura de 500 hPa (5500 m) y 850 hPa (1500 m). Fuente: Meteocat.

Desde el punto de vista de las heladas consideradas histórica por la magnitud y la extensión de los daños provocados, destaca la acaecida los días **21 y 22 de abril del año 1991**. Las pérdidas en el sector frutícola del Valle del Ebro se sitúan en los mismos niveles que las producidas en el último episodio del 2022⁷.

Si nos remontamos en el tiempo, en el año 1977 se produjo una helada primaveral que se desarrolló en dos episodios, del 29 al 31 de marzo (Temperatura mínima Lleida -1,5°C) y del 9 al 11 de abril de ese año (Temperatura mínima Lleida 0,8°C) que provocó considerables pérdidas en la producción frutícola.

⁷ Federació de Cooperatives de Catalunya. Les gelades d'abril aturen parcialment les cooperatives (5-12-22). <https://www.cooperativesagraries.cat/ca/noticies/2779-les-gelades-dabril-aturen-parcialment-les-coo.html>. Consultado 27-5-24

Por último, y a pesar de no tratarse de heladas primaverales, en el mes de febrero de 1956 se registraron temperaturas inferiores a 0°C durante 25 días seguidos, alcanzándose mínimas por debajo de -10°C durante tres días consecutivos. Estas heladas resultaron devastadoras para el cultivo del olivo.

C.2. Francia.

C.2.1. Suroeste de Francia. Zona productora de castaño

En los últimos ocho años, los castañares del suroeste de Francia han sufrido tres heladas primaverales importantes.

En **2017**, las fuertes heladas de los días **19 y 21 de abril y entre el 27 y el 29 de abril** afectaron a varias explotaciones. El impacto de estas heladas se vio agravado por el hecho de que los castaños se plantaron temprano ese año (dos semanas antes de lo normal para la temporada)⁸. Para los productores afectados, las heladas supusieron entre un 30 y un 80% de pérdidas de cosecha⁸⁹. Sin embargo, la intensidad de las heladas varió mucho y los daños no fueron generalizados en toda la región. No se informó del uso de sistemas de defensa en ese momento.

La primavera de **2021** estuvo marcada por fuertes heladas durante un periodo seco, con temperaturas de hasta -5°C y -7°C **entre el 6 y el 13 de abril** durante varias noches. Estas heladas afectaron a los botones florales, repercutiendo en los rendimientos de las explotaciones afectadas. Por segundo año consecutivo, la producción regional sufrió un descenso del rendimiento de entre el 15% y el 30% en comparación con un año típico (2019)¹⁰.

En **2024**, una helada primaveral afectó a algunos lugares de Corrèze, Haute-Vienne, Dordoña, Lot y Cantal. Las temperaturas mínimas registradas oscilaron entre -2,5°C y -1,1°C, e incluso -6°C en algunas localidades, entre el **19 y el 24 de abril**. Los daños visibles parecían afectar principalmente al follaje y a algunas yemas de los frutos¹¹. El boletín técnico del castaño del Suroeste que precedió a esta helada recordaba los tipos de heladas y las medidas profilácticas recomendadas para proteger mejor los lugares más expuestos y los árboles jóvenes. La evaluación al final de la campaña de 2024 revelará si esta helada ha tenido un impacto significativo en la cosecha.

C.2.2. Moyenne-Garonne

En el apartado B.3.1 se describe la evolución climática de la zona de la Moyenne Garonne desde 1951 hasta la actualidad.

Los años más fríos y con mayores daños por heladas, fueron el 1956, 1967, 1970, 1991 y 2021 y 2022. Destaca especialmente el primero de la serie, 1956, puesto que en el contexto de una ola de frío polar que afectó a toda Europa se alcanzaron temperaturas inferiores a -20°C durante varios días consecutivos, lo que ocasionó la pérdida de muchas de las especies mediterráneas de la zona.

Más recientemente, las heladas de 2021 y 2022, que se produjeron a principios de abril, también causaron importantes daños a la producción frutícola de la región. En 2024, la elevada humedad del suelo y la presencia de nubes y niebla redujeron mucho el riesgo, y los daños siguieron limitándose a las estribaciones del Macizo Central hacia el Lot y Dordoña.

⁸ Chambre d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine. 2018. Bulletin de Santé du Végétal – Grand Sud-Ouest – Châtaignier N°9. Bilan 2017. 4p.

⁹ Union Interprofessionnelle de la châtaigne du Sud-Ouest. 2018. Bulletin d'information de l'Union interprofessionnelle. 13p.

¹⁰ Chambre d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine. 2022. Bulletin de Santé du Végétal – Grand Sud-Ouest – Châtaignier N°15. Bilan 2021. 7p

¹¹ Chambre d'agriculture de Nouvelle-Aquitaine. 2024. Bulletin de Santé du Végétal – Grand Sud-Ouest – Châtaignier N°1. 8p.

C.1. Portugal

En el nordeste de Portugal, las heladas primaverales son bastante frecuentes y causan daños importantes. En la región de Carrazeda de Ansiães (Bragança), donde la fruticultura es la actividad agrícola más importante, en particular la producción de manzanas, las heladas tardías de primavera causan daños importantes. Los episodios más recientes de heladas en primavera (abril) con daños significativos para la fruticultura fueron los siguientes:

- En **2024, el 9 de abril**, se produjo una helada de $-1,6^{\circ}\text{C}$ que causó importantes daños en variedades como 'Granny Smith', que se encontraban en su fase fenológica más sensible (floración/maduración tardía).
- En **2023, el 13 de abril**, se produjo una helada de $-3,4^{\circ}\text{C}$ que causó daños en torno al 40%.
- **21 de abril de 2022**. Ha sido la helada primaveral con daños más importantes. Se alcanzó una temperatura mínima de -4°C . A principios de abril de 2022 (2 y 6 de abril) las temperaturas mínimas fueron de $-6,6^{\circ}\text{C}$ y $-4,4^{\circ}\text{C}$ respectivamente.

A pesar de la disminución de los casos de heladas, especialmente en las dos últimas décadas, los episodios de heladas más recientes mencionados anteriormente han aumentado la preocupación y el interés de los productores por aplicar métodos de protección contra las heladas.

C.2. Anexos

C.2.1. Región de Murcia. Zonificación del riesgo del riesgo de heladas

La probabilidad y el riesgo de temperaturas que causan daño de helada varían con la sensibilidad de las especies y del grupo varietal, este conocimiento a los agricultores a decidir si se planta, qué y cuándo en una localidad en particular.

Si utilizamos cálculos de probabilidad y de riesgo, se pueden determinar las posibilidades de que el cultivo sea dañado por la helada en un determinado evento, el enfoque es similar al utilizado por los hidrólogos cuando determinan el período de retorno de las inundaciones o los geólogos cuando estiman la probabilidad y el riesgo de terremotos. De forma similar, la información sobre la probabilidad y el riesgo de temperaturas mínimas se utiliza para decidir sobre la posibilidad de perder un cultivo por daño por heladas, en un año cualquiera o en varios años. Estas posibilidades calculadas se utilizan para decidir si debiera plantarse el cultivo, si es conveniente asegurarla, si debe plantarse un cultivo distinto, o si la protección contra las heladas es eficaz en costes.

En frutales, las temperaturas críticas de daño cambian con el estado de desarrollo del cultivo, y estas fechas varían de un año a otro, en consecuencia, determinar la probabilidad y el riesgo para plantaciones frutales es más complicado que para cultivos anuales. Por ejemplo, una temperatura crítica de daño (T_c) puede ser -7 °C o inferior en el estadio de rotura de yemas, pero puede aumentar hasta -2 °C o superior durante el estado de fruto pequeño, un mes más o menos más tarde.

El análisis de riesgo se utiliza para estimar las probabilidades de que un evento de daño ocurra o no a largo plazo. Por ejemplo, un agricultor quiere saber el riesgo de que un cultivo en particular se pierda por helada durante la vida esperada de la plantación, siguiendo la metodología establecida en la publicación de la FAO del año 2010: Protección contra las heladas: Fundamentos, práctica y economía. <https://www.fao.org/4/y7231s/y7231s00.htm>

Como base para una zonificación básica se puede utilizar como unidad el polígono catastral clasificado según la probabilidad media para los tres grupos finales definidos para cada cultivo y consensuado con la aseguradora.

- Grupo I: Extra temprano y Temprano.
- Grupo II: Media estación y Tardíos.
- Grupo III: Tardíos

Para la zonificación final se han caracterizado los polígonos según una serie de indicadores y los daños facilitados por Agroseguro.

Tabla 1.- Principales indicadores del riesgo de heladas seleccionados en este estudio y criterios de clasificación de los polígonos catastrales.

NIVEL DE RIESGO	Daños medios (%)	Probabilidad media polígono (%)	Nº Días año (T mín < 0°C)	Altimetría (m)	Continentalidad (km)
I-Bajo	< 5	< 15	< 15	0- 300	< 50
II-Medio	5-10	15-30	15-25	300 - 500	50-75
III-Alto	> 10	> 30	> 25	> 500	>75

En base a las condiciones mencionadas se han elaborado diversos mapas con la zonificación de la Región de Murcia para los 3 niveles de riesgo establecidos (Figura 35 y Figura 36).

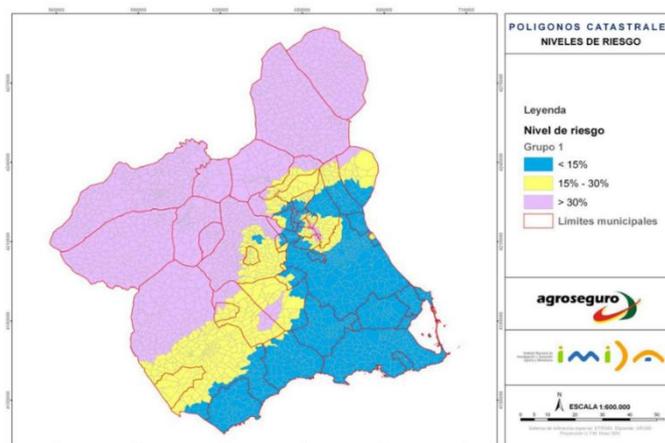


Figura 35.- Zonificación del riesgo climático por polígono catastral: GRUPO I de melocotonero

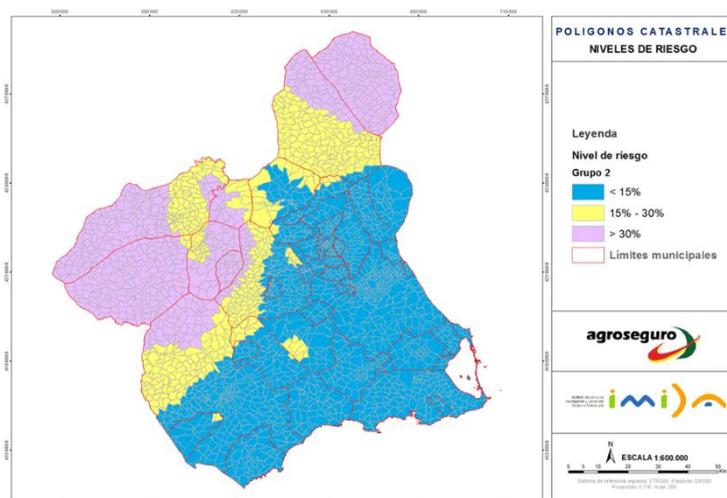


Figura 36.- Zonificación del riesgo climático por polígono catastral: GRUPO II de melocotonero

C.2.2. Región de Murcia. Estudios sobre heladas

En los últimos años se han publicado diversos estudios sobre los riesgos de heladas en la Región de Murcia que se describen a continuación.

Publicación: Espín-Sánchez, D., Conesa-García, C. (2021). Spatio-temporal changes in the heatwaves and coldwaves in Spain (1950-2018): influence of the East Atlantic pattern. *Geographica Pannonica*, 25(3).

Resumen:

La Península Ibérica tiene una orografía compleja, que determina un importante gradiente altitudinal y alternancia de valles y montañas, y periódicas advecciones de aire frío/cálido. En la presente investigación se analizó la evolución de las características de las olas de calor (HW) y de frío (CW) (número de eventos, frecuencia, duración, magnitud y amplitud). Un total de 28 estaciones meteorológicas de período homogéneo (1950-2018), agrupadas en seis regiones (cluster). Tras someter las series meteorológicas a un proceso de homogeneización y control de calidad de los datos, se estimaron diversos índices ET-SCI con el fin de obtener tendencias de evolución en cada región climática. En todos los casos, hubo un aumento, a menudo significativo, en la recurrencia de eventos HW (0,3/10 años), así como una disminución en los eventos CW (-0,2/10 años). Además, se correlacionó la evolución de los índices y anomalías anteriores con la evolución del índice global del Atlántico Este (EAI).

Palabras clave: Península Ibérica; grupo; advección; índices; teleconexión; Atlántico este

Espín Sánchez, D., Olcina Cantos, J., Conesa García, C. (2022). Satellite thermographies as an essential tool for the identification of cold air pools: an example from SE Spain. *European Journal of Remote Sensing*, 55(1), 586-603.

Resumen:

Los procesos implicados en la formación de inversiones térmicas nocturnas (NTI) son de gran relevancia a lo largo del año, influyendo notablemente en la distribución superficial de las temperaturas mínimas durante las noches de estabilidad atmosférica. La baja densidad de estaciones meteorológicas de superficie en el área de estudio motivó el uso de termografías para el mapeo e identificación de CAPs de piscinas de aire frío. La distribución térmica durante las noches estables conduce a la formación de CAPs en zonas de valles y zonas deprimidas, y en zonas con aire más cálido (WAM) en zonas orográficamente complejas. Las termografías realizadas con productos satelitales de AQUA y SUOMI-NPP (MODIS y VIIRS LST) representan la única herramienta capaz de radiografiar completamente el territorio bajo estudio, superando así las limitaciones en la interpolación de temperaturas mínimas superficiales. El principal objetivo de la investigación fue, por tanto, valorar la termografía como una herramienta importante en la identificación de CAPs. Los productos utilizados fueron sometidos a una validación estadística con las temperaturas superficiales registradas en los observatorios meteorológicos (R 2 0,87/0,88 y Bias -1,2/-1,3) con el nuevo objetivo de realizar mapas de distribución térmica en procesos de estabilidad nocturna...

Palabras clave: inversión frío termografía validación herramienta

Publicación: Sánchez, D. E. (2015). Riesgo de heladas por inversión térmica en la huerta de Murcia: Incidencia en la actividad agraria. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (64), 73-86.

Resumen:

En el Sureste peninsular son frecuentes las situaciones anticiclónicas alimentadas en invierno por advecciones de aire polares/árticas continentales. Bajo estas condiciones, las cuencas y valles fluviales intrabéticos son bastante proclives al desarrollo de inversiones térmicas. Un claro ejemplo lo constituye la Vega Media del Segura en los meses de invierno, con génesis de heladas relativamente frecuentes en sectores localizados. Como complemento al estudio de los factores físicos, se realiza un profundo estudio del parcelario agrícola de la huerta de Murcia y los posibles efectos que puedan generar las bajas temperaturas sobre los principales cultivos del área de estudio, centrados especialmente en los mayoritarios cítricos. Finalmente se proponen una serie medidas anti-heladas activas, pasivas en relación con las características del área de estudio y un sistema empírico de predicción de temperatura mínima, a fin de que los agricultores posean herramientas para mitigar los efectos de las heladas en la Vega Media del Segura.

Palabras clave: Inversión térmica, estrato cálido, Vega Media del Segura, umbral crítico, riesgo, nebulizadores

Espín Sánchez, D. (2022). Cartografía de alta resolución del riesgo de heladas: peligro, vulnerabilidad y exposición agrícola (SE de España). *Documents d'anàlisi geogràfica*, 68(2), 0279-312.

Resumen

El riesgo de heladas en el sureste de España ha supuesto históricamente importantes pérdidas económicas para el sector hortofrutícola. En la Demarcación Hidrográfica del Segura (DHS), el sector agrícola representa 8.161 km², algo más del 43% del área total de estudio. Los días de heladas, que aparecen principalmente a causa de los procesos de inversión térmica nocturna (ITN), influyen en los cultivos periódicamente todos los años. Los factores que explican la evolución y el cálculo del riesgo de heladas (peligro, vulnerabilidad y exposición) se analizan desde el punto de vista espaciotemporal, con especial énfasis en el análisis del período de heladas (FP) (1950-2020). Los resultados muestran una clara disminución de la peligrosidad de heladas en las últimas siete décadas (1950-2020), mientras que la vulnerabilidad y la exposición aumentan en el área de estudio. Marzo y abril son los meses de mayor riesgo, cuando destaca la potencial afectación al cultivo del almendro y a los cereales de secano y de regadío, con más de 4.000 km² con riesgo de heladas significativo. Se ha generado una cartografía del riesgo de helada mensual de muy alta resolución con el objetivo de ser útil para la futura planificación agrícola del área de estudio.

Palabras clave: Risk; Crops; Hazard; Vulnerability.

Sánchez, D. E. (2022). Estructura vertical y características de las inversiones térmicas nocturnas en el SE de España. *Cuadernos Geográficos*, 61(1), 79-106.

Resumen:

El sureste de la península ibérica se caracteriza por un importante número de días de cielos despejados al año. Bajo condiciones estables, durante las horas nocturnas, se desarrollan procesos de inversión térmica nocturna (ITN) con una notable alteración vertical y espacial en la distribución térmica superficial. El principal objetivo de la investigación es cuantificar el grado de importancia de los procesos de estabilidad nocturna en el sureste peninsular, y su influencia en las temperaturas mínimas superficiales. A través del análisis diario de sondeos atmosféricos nocturnos de la ciudad de Murcia (1986-2015) se identifica la estratificación vertical, frecuencia, tipología o intensidad de los fenómenos de ITN. Los resultados indican una notable importancia y predominio a lo largo del año (83,7% del total), especialmente en invierno. Se realiza, además, un estudio temporal reciente de los procesos de ITN y de las principales variables que lo desencadenan. Finalmente, el análisis se complementa con una caracterización de la capacidad de inversión de los procesos de estabilidad nocturna en superficie a través de 135 estaciones meteorológicas.

Palabras clave: inversión térmica; estabilidad; sondeo; estratificación; Murcia

Galdón Ruiz, A. (2024). Caracterización del régimen de heladas en la Región de Murcia, España.

Resumen

Los agricultores de la Región de Murcia se ven afectados frecuentemente por el fenómeno de las heladas, que provocan efectos nocivos en la productividad y retorno económico. La sabiduría agraria les permite conocer los mejores momentos para la siembra, pero no están exentos de sobresaltos que rompen las planificaciones realizadas en sus cosechas. Tampoco las compañías de seguros agrarios tienen herramientas para adivinar, con el tiempo suficiente, los inconvenientes atmosféricos que generan pérdidas millonarias en el campo murciano. Caracterizar el régimen de heladas en la Región de Murcia puede ayudar al sector agrario a tomar decisiones minimizando riesgos. También, a que las primas de los seguros contra las heladas, pagadas por los agricultores, puedan ser más justas, puesto que hay zonas con una menor probabilidad de siniestro que otras.

Palabras clave: Heladas; Murcia

Erena, M., Brotons, J. M., Conesa, A., Manera, F. J., Castañer, R., Garcia, P., Porras, I. (2017). Desarrollo de un geoportal para el inventario y la evaluación de daños por heladas en los cítricos de la Región de Murcia. In XVII Congreso de la Asociación Española de Teledetección.

Resumen:

La investigación presentada tiene por objeto el desarrollo de una infraestructura de datos espacial que permita mantener un inventario actualizado de la superficie citrícola a escala regional mediante servicios de web mapping, la estimación del riesgo de heladas basada en el registro histórico de una red de estaciones agroclimáticas, la evaluación de daños utilizando los SIG/teledetección y su comparación con los siniestros registrados por las compañías de seguros agrarios en los últimos 15 años. La plataforma permite caracterizar, zonificar la producción de las

zonas cítricas y la publicación de geoprocetos aplicados a la evaluación del riesgo asociado a las heladas a escala de polígono de catastral.

Palabras clave: inventario, cítricos, heladas, riesgo, daños.

Pérez Morales, A. (2016). Riesgo de heladas en cultivos. Análisis y evaluación.

Resumen:

Las heladas constituyen uno de los fenómenos atmosféricos que mayores daños económicos producen sobre la actividad agraria española. El campo murciano es sensible a estos eventos por una serie de transformaciones en sus formas de producción en las últimas décadas que han motivado un aumento de la vulnerabilidad a ese peligro. Ante esta situación, se precisan estudios de localización como el presente, donde se identifican con detalle los principales sectores de riesgo para la posterior propuesta de medidas de actuación.

Palabras clave: heladas, riesgo, daños.

C.2.3. País Vasco. Estudio sobre heladas en la región

En la Figura 37 se localizan geográficamente las estaciones meteorológicas seleccionadas para realizar los estudios climáticos sobre heladas en el País Vasco.



Figura 37.- Localización de estaciones seleccionadas en el País Vasco.

De la Figura 38 a la Figura 42 se presentan los gráficos de probabilidad de heladas en distintas zonas de País Vasco.

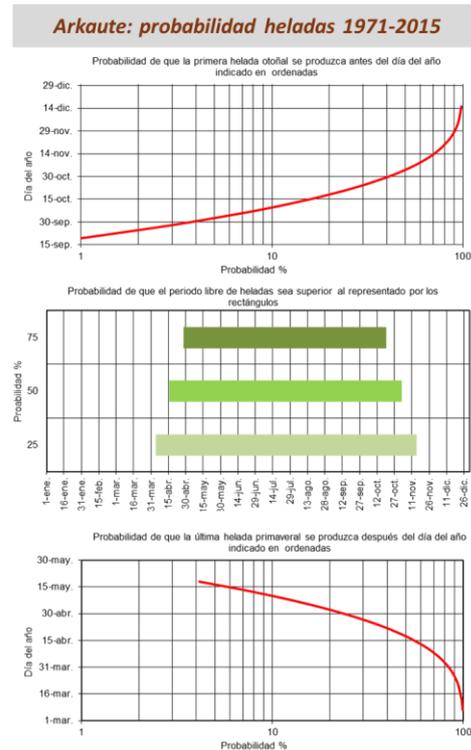
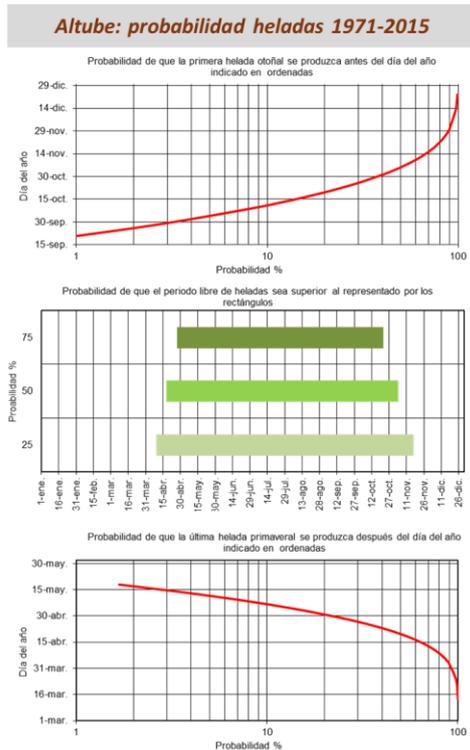


Figura 38.- Probabilidad de heladas 1971-2015: Altube y Arkaute.

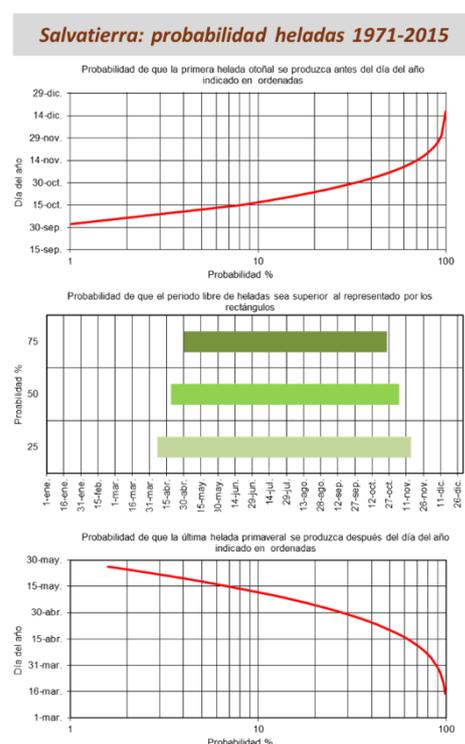
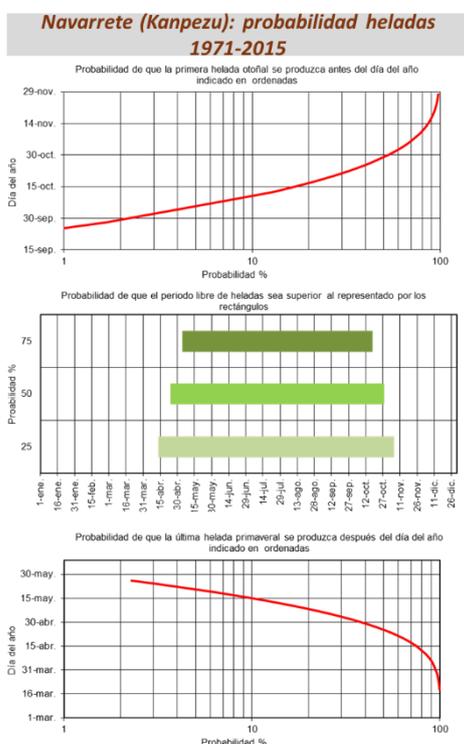


Figura 39.- Probabilidad de heladas 1971-2015: Navarrete y Salvatierra.

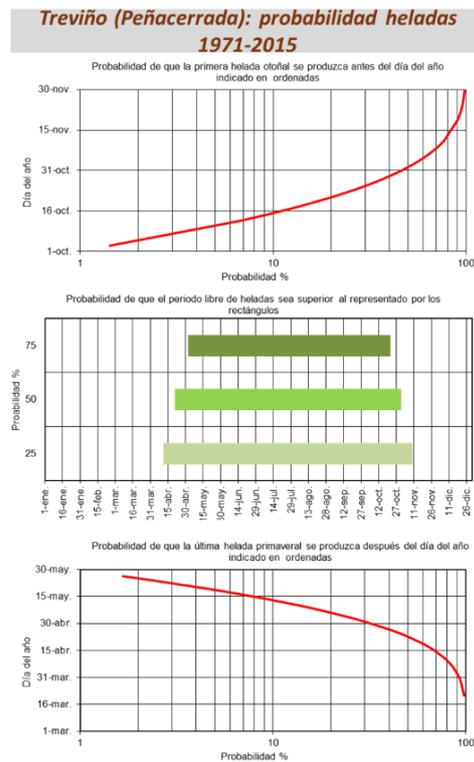
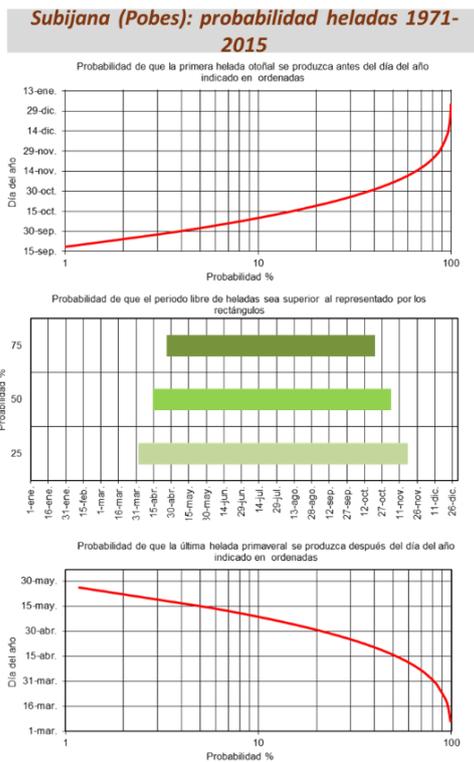


Figura 40.- Probabilidad de heladas 1971-2015: Subijana y Treviño.

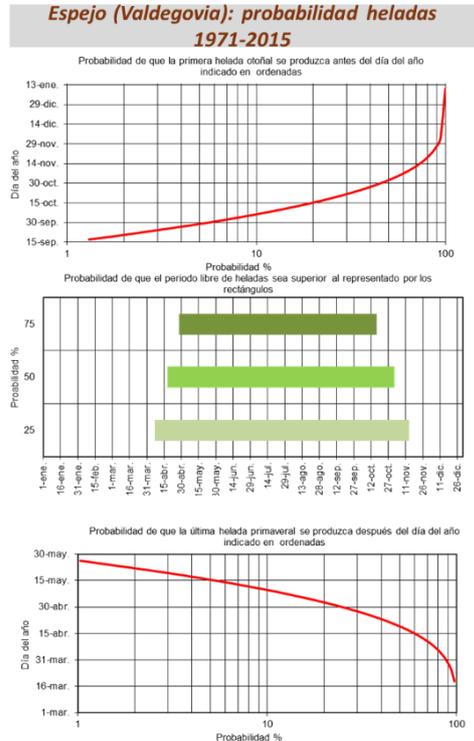
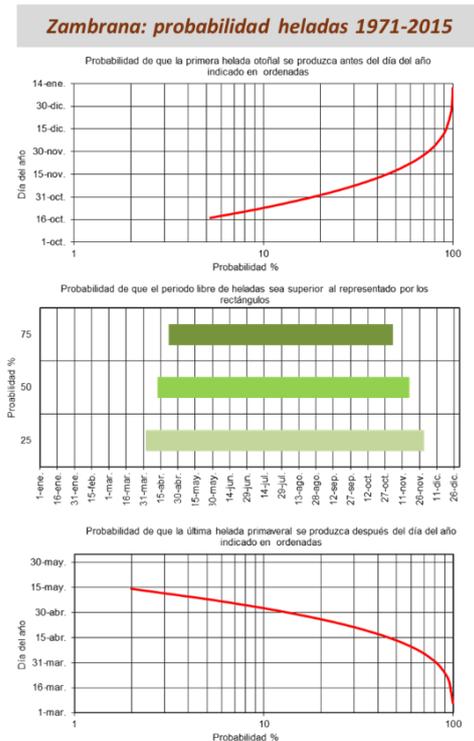


Figura 41.- Probabilidad de heladas 1971-2015: Zambrana y Espejo.

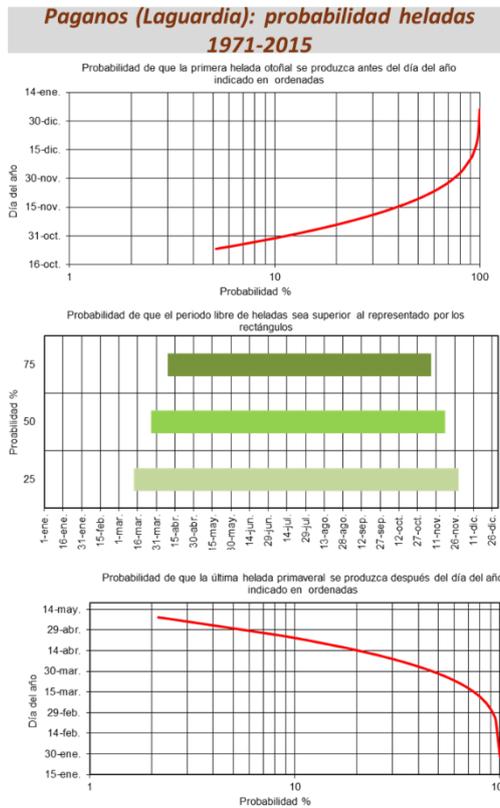


Figura 42.- Probabilidad de heladas 1971-2015: Paganos.

Eventos de heladas en el País Vasco entre los meses de marzo y mayo en el periodo comprendido entre los años 2004 y 2017

En la Figura 43, Figura 44 y Figura 45, se representan el número de eventos de helada acaecidos en los meses de marzo, abril y mayo en diversas zonas del País Vasco en el periodo entre 2004 y 2017.

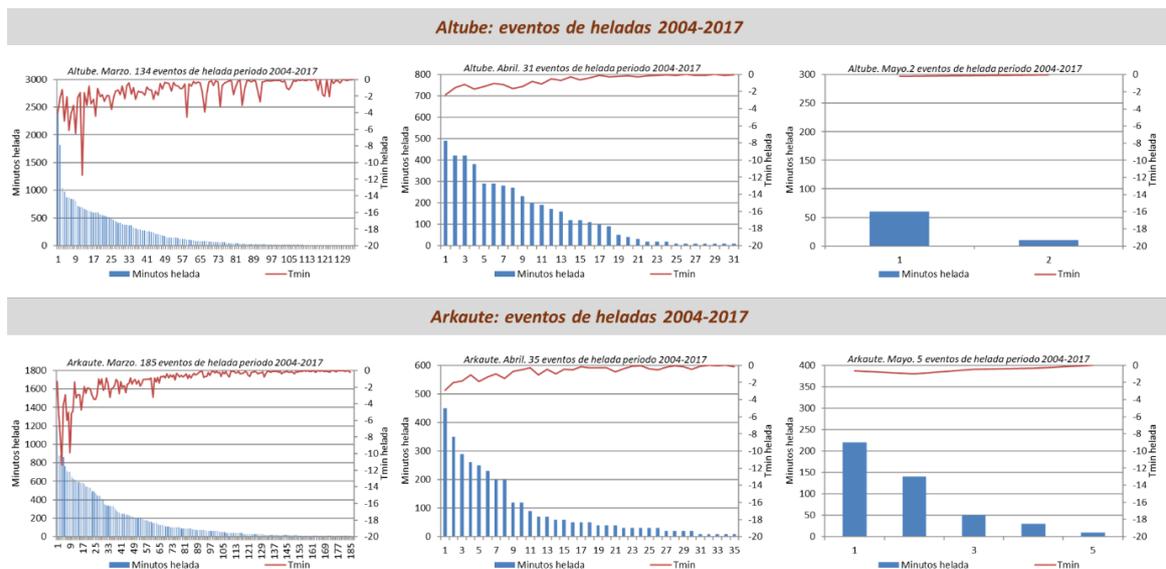


Figura 43.- Eventos de heladas 2004-2017: Altube y Arkaute.

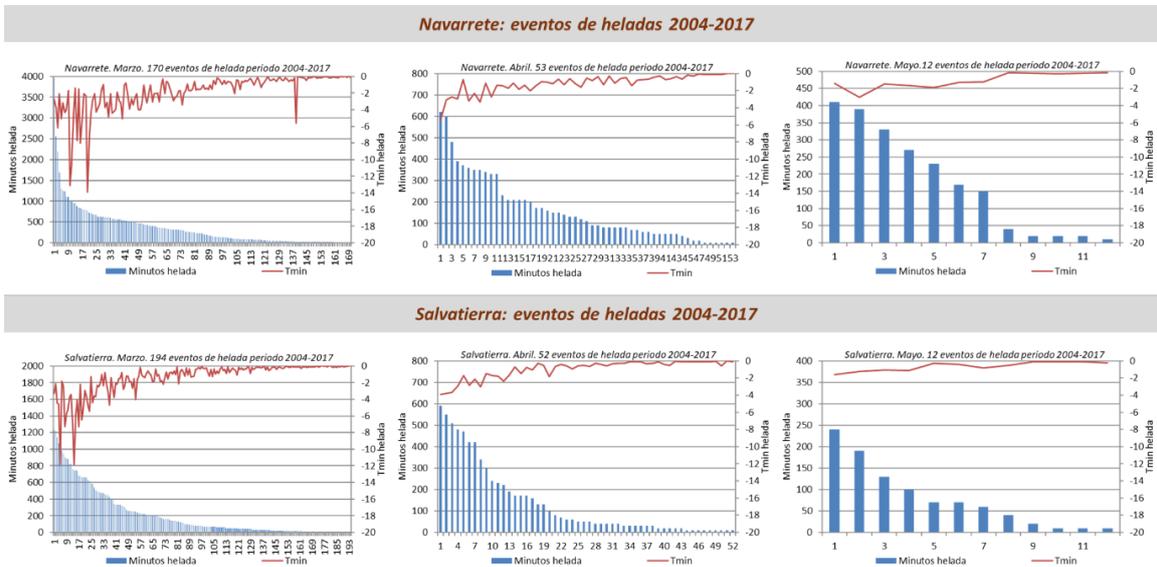


Figura 44.- Eventos de heladas 2004-2017: Navarrete y Salvatierra.

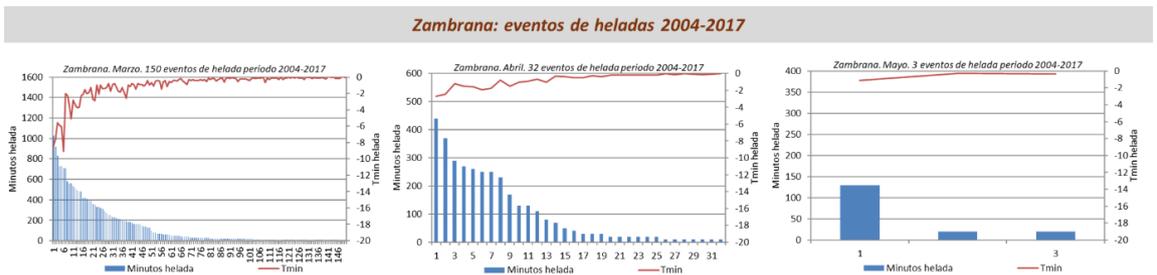


Figura 45.- Eventos de heladas 2004-2017: Zambrana.

C.2.4. Lleida. Estudio sobre heladas en la región

Existen pocos estudios publicados sobre la incidencia de las heladas en Catalunya y la probabilidad de aparición en las diferentes regiones productivas. En el ámbito del Valle del Ebro existe un trabajo donde se aborda la incidencia de las heladas entre los años 1981 y 2010 a lo largo de la Cuenca Media del Ebro incluyendo Rioja, Navarra, Aragón y Cataluña¹².

Igualmente existe un estudio sobre las características de las heladas en el Valle Medio del Ebro, principalmente en la zona de Aragón, aunque por las condiciones geográficas, las conclusiones pueden extenderse a la zona frutícola de Lleida¹³. Como conclusiones principales del estudio se indica que las heladas más frecuentes son las de irradiación, siendo las más dañinas las que

¹² Laviña, R. (2013). Las heladas en la zona del Valle del Ebro y su influencia en los cultivos. Trabajo Fin de Master. Univ. Zaragoza.

¹³ Hernández, M. L. (2017). Tipología, génesis y desarrollo de las heladas en el valle Medio del Ebro. Geographica, (31), 95–114. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.1994311771

presentan un origen combinado de una advección de aire frío con una estabilización posterior de esta masa de aire.

En un estudio de la evolución de la probabilidad de heladas primaverales a lo largo del tiempo en la zona frutícola de Lleida se ha constatado que la probabilidad de alcanzar los $-5,5^{\circ}\text{C}$ en las estaciones de Gimennells y Mollerussa (como sucedió en el año 2022) estaría por debajo del 1% (Figura 46).

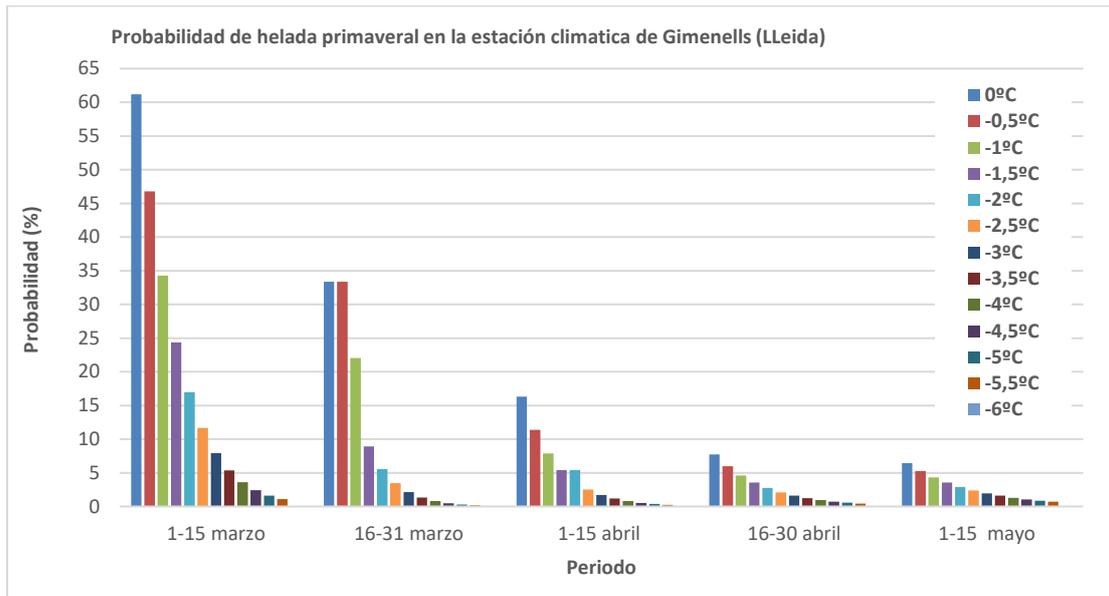


Figura 46.- Probabilidad de helada en la estación climática de Gimennells situada en la zona frutícola de Lleida.

D. Principios de las heladas

Las heladas se producen cuando el balance energético entre la radiación solar recibida y almacenada durante el día, por una parte, y la radiación térmica del suelo y las plantas hacia el espacio durante la noche, por otra, es lo suficientemente negativo como para provocar un descenso de las temperaturas nocturnas durante varias decenas de minutos por debajo de los umbrales de sensibilidad de las plantas, que suelen situarse en torno a los -2°C .

El fenómeno físico de las heladas es más probable que se produzca después de que la vegetación empiece a crecer y durante los periodos en que el aire frío polar desciende sobre zonas continentales en lugar de sobre el océano, donde la masa de aire pierde su transparencia a la radiación infrarroja al humedecerse.

El calentamiento global está provocando que la vegetación empiece a crecer antes, lo que aumenta la probabilidad de estar en la trayectoria de un descenso polar continental, que ha sido más frecuente en abril desde 2017.

Aunque en realidad se trata de una mezcla de diferentes situaciones de heladas, conviene recordar los diferentes tipos de heladas introduciendo las heladas por radiación, por advección y por evaporación, teniendo en cuenta que en el campo la primera se suele denominar helada blanca, la segunda helada negra y la tercera no se nombra. Esta tercera helada coge por sorpresa a los agricultores porque suele producirse al amanecer, cuando las temperaturas mínimas estaban subiendo y bajando justo antes de la salida del sol.

D.1. Las heladas de radiación

Esta es la causa principal de la mayoría de los daños graves observados en primavera, otoño y, más raramente, invierno, cuando las temperaturas descienden por debajo de -15°C y se producen daños en el tronco.

Como su nombre indica, el descenso de la temperatura es el resultado de la pérdida de calor a través del proceso de radiación. Recordemos que todos los cuerpos emiten constantemente paquetes de energía en todas las direcciones del espacio. La longitud de onda de emisión es función de su temperatura. El Sol, a casi 5600°C , emite en las longitudes de onda visible (0,3 a 0,7 micrómetros) e infrarroja cercana (0,7 a 3 micrómetros). La Tierra (15°C de media) emite en el infrarrojo a unos 10 micrómetros. Se supondrá que todos los cuerpos pueden emitir el máximo teórico, que es proporcional a la temperatura superficial absoluta (en $^{\circ}\text{Kelvin}$) de ese cuerpo a la cuarta potencia.

Al mismo tiempo, la superficie de cualquier objeto recibe y absorbe la energía radiativa emitida por los cuerpos que lo rodean y se encuentran dentro de su "campo de visión". En un día despejado, el suelo se calienta gracias a los rayos solares, siempre que no haya nubes que lo impidan. Durante el día, la potencia de los rayos solares directos puede variar, alcanzando entre 500 y 800 $\text{Wattios}/\text{m}^2$ hacia el mediodía, mientras que la Tierra pierde entre 150 (al final de la noche) y 300 $\text{Wattios}/\text{m}^2$ (al mediodía), las 24 horas del día. A partir del 21 de marzo, el día es más largo que la noche.

El vapor de agua es un gas transparente a la radiación visible e infrarroja. Sin embargo, en cuanto las gotas alcanzan un tamaño de 10 micras, el agua líquida absorbe la radiación infrarroja, que atrapa y reemite en su mayor parte. Los cristales de hielo también son absorbentes.

Veamos las condiciones específicas que favorecen o son necesarias para que se produzca tal acontecimiento:

- una masa de aire frío y seco domina la región en todo el espesor de la atmósfera. El cielo permanece despejado durante toda la noche; la ausencia de nubes y, por tanto, la falta de una trampa de radiación térmica en el rango infrarrojo hace que se pierda calor del suelo y de todas las plantas hacia el espacio.

- Estas pérdidas se estiman en unos 180 W/m^2 al principio de la noche y casi 100 W/m^2 al final de la noche, cuando la temperatura es más baja. Al mismo tiempo, la atmósfera envía un flujo de radiación de unos 30 a 50 W/m^2 hacia la superficie terrestre, en función de la temperatura media de la masa de aire que sobrevuela una región.
- En primavera, por ejemplo, cuando el aire a unos 5000 m está a -15°C , no hay casi riesgo de heladas si la temperatura fue superior a 18°C durante el día anterior. En cambio, cuando el aire más frío (gotas frías sin nubes) se estanca o circula sobre una región y la temperatura en torno a los 5000 m se aproxima a los -25°C , el riesgo de heladas será elevado aunque la tarde haya sido muy soleada. Hay que tener en cuenta que mientras que durante el día la convección permite que el viento circule a ras de suelo, durante la noche aumenta la viscosidad del aire que se enfría a ras de suelo, lo que atenúa y luego detiene el viento, excepto sobre el relieve.
- La duración de la noche es lo suficientemente larga como para que el descenso de la temperatura, causado por la pérdida de calor por radiación, continúe por debajo del umbral de sensibilidad de las plantas.
- El aire de las capas bajas de la atmósfera es lo suficientemente seco como para que no se forme niebla antes de que las temperaturas desciendan por debajo de cero. De hecho, cuando aparece la niebla, las gotas de agua más grandes interceptan la mayor parte de la radiación térmica infrarroja procedente del suelo y la reflejan casi toda, limitando el descenso de la temperatura nocturna a unos pocos grados.
- Bajo cielos despejados en una masa de aire frío y seco, las temperaturas pueden descender más de veinte grados, con un descenso horario máximo al principio de la noche, cuando amaina el viento.
- No hay viento que agite y mezcle el aire, que se enfría al contacto con las plantas y el suelo más frío, con el aire situado a unos metros o decenas de metros por encima, que aún conserva el recuerdo de la temperatura positiva del día anterior. Este recuerdo del aire más cálido, que aún no se ha enfriado porque circula muy por encima del suelo, se denomina "inversión".
- De hecho, en esta situación nocturna, la temperatura primero aumenta con la altura varios grados antes de empezar a descender de nuevo una media de -2°C por cada 1000 m . Recordemos que la densidad del aire aumenta a medida que desciende su temperatura. Así, por convección natural, el aire frío se estanca y se desliza por el suelo, lo que explica, entre otras cosas, el carácter especialmente gélido de las zonas bajas.

Y, en menor medida:

- El calor almacenado en el suelo es insuficiente para compensar la pérdida de calor por radiación. La conducción del calor se estima en un máximo de 80 W/m^2 en el caso de un suelo desnudo, bien compactado y húmedo. En cuanto el suelo se seca, se vuelve menos conductor porque el aire que contiene es muy aislante.
- El césped, un mantillo de paja o la tierra recién labrada pueden reducir esta

transferencia de calor del suelo a menos de 20 W/m².

- Un seto o un bosque impiden que el aire frío se escape hacia abajo. Un prado o una parcela de cereales, o un pinar situado justo encima de la parcela, es una auténtica "fábrica" de aire frío, que se deslizará hacia la parcela sensible durante la noche.
- Un seto de árboles altos crea una pantalla antirradiación que reduce el enfriamiento por encima de aproximadamente 1,5 veces la altura de los árboles. En el caso de los pinos de brezo, el aire frío producido por las agujas parece ser mayor que la protección antirradiación y es mejor mantenerlos alejados del borde de las parcelas. Además, estos pinos consumen más rápidamente el agua del suelo en primavera, lo que los hace menos conductores del calor y, por tanto, más propensos a heladas.

D.2. Las heladas de advección

En muchas partes, este tipo de helada se conoce como "helada negra", a menudo por razones muy diferentes que sólo se pueden entender por la experiencia local, que no siempre está bien explicada.

El término advección hace referencia al "desplazamiento horizontal de una masa de aire" (Petit Robert). En nuestro caso, hay que añadir que se trata de aire frío a una temperatura media en las capas inferiores inferior al umbral de resistencia de las plantas sensibles.

En nuestras regiones, las heladas por advección corresponden a una invasión de aire de norte a noreste, a temperatura negativa, sea cual sea la cobertura del cielo o la humedad del aire.

En este caso, el aire frío se calienta progresivamente del norte al sur de Europa, llevándose parte del calor almacenado en el suelo. Sin embargo, si el suelo está cubierto de nieve, el flujo de conducción es insignificante y la ola de frío se extiende uniformemente por toda Francia en dirección a la Península Ibérica. Sólo las zonas que bordean grandes masas de agua no heladas, y siempre que se encuentren aguas abajo de este flujo, tienen alguna posibilidad de ser un poco más cálidas o de experimentar la formación de niebla helada o de nubes bajas con nieve, que aportan un poco de energía cuando el vapor de agua se condensa o se congela. Esto ocurre generalmente en las islas y costas francesas bien expuestas, como Bretaña o Córcega.

Este tipo de helada puede producirse a cualquier hora del día, ya que se trata de un descenso frío en el que la temperatura está por debajo de los umbrales de sensibilidad de las plantas. Es más probable que se produzca en invierno y en el este de Francia.

Al traer aire seco, suele crear condiciones propicias para las heladas de radiación, lo que aumenta los daños (febrero de 1956, enero de 1985). A veces, cuando la parte superior de la parcela se hiela mientras que la inferior permanece más caliente, los cultivadores imaginan que es el viento frío el que ha causado los daños a mayor altitud. Las mediciones recientes no confirman esta interpretación, sino que más bien sugieren el impacto de un secado más rápido del suelo en las partes superiores de las parcelas, que son ventosas durante el día, mientras que las zonas inferiores permanecen saturadas de agua.

D.3. Las heladas de evaporación

Este tipo de helada se caracteriza por la sorpresa de ver fluctuar rápidamente las temperaturas mínimas, a veces más de 2°C por hora, sin que se produzcan fuertes movimientos de aire ni cambios en el cielo, generalmente despejado. Este fenómeno dramático se produce generalmente al amanecer, pero puede ocurrir en cualquier otro momento cuando las

temperaturas se acercan a los umbrales de sensibilidad y llega aire especialmente seco sobre una zona en la que las plantas están mojadas.

Esta particularidad del aire muy poco húmedo es decisiva para explicar y predecir este tipo de heladas. En efecto, como su nombre indica, el frío necesario para las heladas se produce por la evaporación del agua que ya se ha condensado o congelado en las células vegetales sensibles o cerca de ellas.

Recordemos que el aire contiene agua en forma de vapor y que esta masa de agua varía según la temperatura y el origen del aire. En condiciones anticiclónicas, con una presión atmosférica superior a 1015 hPa, el aire frío y seco "cae" sobre nosotros, humedeciéndose, por ejemplo, al contacto con superficies húmedas y con las masas nubosas que disipa.

Tomemos el caso de una buena tarde anticiclónica con flujo del noreste en las capas bajas, con una humedad no superior al 35% y una temperatura máxima de 16°C. Tras la puesta del sol, los fenómenos naturales de convección responsables de las pocas nubes de la tarde, a veces acompañadas de chubascos, desaparecen del cielo despejado; el flujo radiante (véase más arriba) hace descender rápidamente la temperatura hasta el nivel del suelo.

La ausencia de viento y la mezcla turbulenta provocan la estratificación del aire frío, lo que hace que las capas más frías se saturen de vapor de agua, principalmente a ras de suelo y en las partes superiores de las hojas o los brotes jóvenes. El vapor que ya no puede contenerse en este aire frío se ve obligado a condensarse en las superficies más frías: briznas de hierba, hojas, ramitas, brotes, etc.

Al condensarse, este rocío libera calor (600 calorías/gr) que eleva ligeramente la temperatura media justo por encima, a menudo unas décimas de grado, a veces más.

Hoy en día, la humedad del aire se mide mediante sensores electrónicos precisos, lo que permite determinar en un momento y lugar determinados la temperatura seca y la denominada temperatura húmeda y, por tanto, la diferencia seco/húmedo, que varía a lo largo de 24 horas, con una diferencia máxima a mediodía y una mínima al amanecer. Cuando esta diferencia es cero y no hay viento, el rocío se condensa o se forma niebla. En años anteriores, medíamos la temperatura húmeda con dos termómetros, uno de los cuales tenía su depósito rodeado por un calcetín empapado en agua a temperatura ambiente.

En caso de riesgo de heladas, por ejemplo, durante una bajada fría de norte a noreste, la diferencia puede ser de más de dos o tres grados durante la noche y de más de un grado al amanecer. Esta diferencia refleja la sequedad relativa del aire circundante y, en última instancia, el riesgo de heladas por evaporación.

Las heladas por evaporación se producen cuando las plantas sensibles se cubren de rocío o agua tras un chaparrón o un riego interrumpido, y cuando la temperatura ambiente se aproxima de 0 a -2°C. Si, en estas condiciones, se produce una ligera agitación del aire y el aire más seco entra en contacto con las plantas húmedas, parte del agua se transformará en vapor para humidificar el aire hambriento de agua.

Esta transformación de líquido en vapor utiliza calor, la mayor parte del cual se extrae del agua líquida y del soporte sobre el que se encuentra. Instantáneamente, cada gramo de agua que se evapora consume 600 calorías, lo que provoca un descenso de la temperatura de la superficie del soporte igual o ligeramente superior al que se lee en los termómetros seco y húmedo. En cuestión de segundos, las células vegetales que soportan el agua que acaba de evaporarse pueden descender a una temperatura inferior al umbral de daños por heladas. Incluso si la condensación se produce de nuevo unos minutos más tarde, haciendo que las temperaturas vuelvan a subir, a

menudo ya es demasiado tarde, pues se ha confirmado que una planta húmeda no puede sobrevivir más de unos minutos por debajo del umbral de sensibilidad. Este fenómeno puede producirse de forma natural durante los descensos de aire frío y seco justo precedidos por un tren activo del noroeste, que favorece la formación de chubascos a última hora de la noche. Durante la primera parte de la noche, los vientos demasiado tranquilos o las cortinas de árboles impiden que las plantas se sequen, y cuando se produce una ligera agitación del aire, a veces provocada por un aire más frío que fluye hacia una zona baja o un valle, se produce el fenómeno de la helada por evaporación. También suele producirse al amanecer, hecho difícil de explicar si no es invocando la perturbación causada por el flujo de radiación solar, que podría favorecer transferencias convectivas de aire que ponen en contacto aire más seco con la capa límite de plantas húmedas sensibles. Otra explicación sería que es el momento en que el periodo de enfriamiento nocturno es más largo. Por último, éste es el principal peligro de iniciar demasiado tarde el control activo, ya sea por pulverización aérea o por ventilación (véanse los capítulos siguientes sobre el control activo).

D.4. Pero la realidad es siempre más compleja...

Aunque estos tres tipos de heladas pueden identificarse y explicarse objetivamente, en la realidad pueden producirse simultánea o sucesivamente en una misma noche, lo que dificulta su análisis e interpretación en el momento.

No obstante, es muy útil identificar claramente estos tres principios e investigar las características de las heladas severas que se han producido en su sector en el pasado, si no registrarlas ahora, para poder prever mejor la naturaleza del riesgo de heladas y adaptar así la producción utilizando los sistemas de control más adecuados.

Por definición, el adjetivo blanco o negro significa simplemente si hay o no heladas a nivel del suelo. Por lo tanto, este resultado es independiente del tipo de helada descrito en este folleto. Sólo refleja la presencia de humedad suficiente en el aire para haber permitido la formación de rocío que, cuando las temperaturas pasaron a ser negativas, se transformó en escarcha. La escarcha blanca, por su parte, se observa principalmente durante una helada por radiación en una masa de aire bastante húmeda en la que la diferencia seco/húmedo será cercana a 0,5 a 0,1°C al amanecer.

Dado que, por lo general, no se forma escarcha en el caso de las heladas por advección y que casi siempre no se forma escarcha en el caso de las heladas por evaporación, estos dos tipos de heladas se denominan heladas negras.

E. Sistemas de defensa contra heladas

E.1. Defensa pasiva contra heladas. Aspectos generales

Los métodos de defensa pasiva frente a heladas son aquellos sistemas, actividades y prácticas que podríamos llamar también "preventivos" y que se aplicarían antes de que se produzca la helada para intentar minimizar sus efectos si esta se llega a producir.

En este apartado se incluirían las acciones antes de la plantación de los cultivos, como pueden ser el estudio de la idoneidad del emplazamiento y la selección de las especies y variedades escogidas o la modificación del paisaje y el microclima para actuar sobre la dinámica de las corrientes del aire frío.

E.1.1. Selección del emplazamiento, especies y variedades

La prevención de las heladas empieza en el momento en que se realiza el proyecto de plantación de una determinada especie y variedad. La presencia e intensidad de las heladas primaverales es uno de los condicionantes más determinantes en la viabilidad económica de las producciones frutales en nuestras contras.

Por todas las implicaciones de tipo económico y de manejo que tiene una plantación de cultivos arbóreos que debería tener una vida útil de muchos años, sería necesario siempre hacer un estudio previo de los riesgos de helada del área donde se quiere plantar.

Actualmente hay empresas que realizan estudios microclimáticos de riesgo de heladas que permiten determinar a nivel de finca, incluso de pequeñas y medianas dimensiones, las zonas con más o menos riesgo de helada y las corrientes de drenaje del aire frío¹⁴.

Estos estudios se basan en datos de estaciones climáticas (cuando más grande y más cercana es la red más precisa puede ser la estimación), la topografía del terreno (Modelos Digitales de Elevación) y en modelos de dinámica de fluidos. Para validar el resultado y la definición de zonas de riesgo, es necesario registrar la evolución de las temperaturas sobre el terreno durante un periodo de tiempo y estudiar su diferencia entre zonas. Este estudio de diferencial de temperaturas en relación a la topografía con sensores grabadores de temperatura podría ser una primera aproximación al comportamiento microclimático de la parcela.

De forma general, las zonas más bajas de las zonas en pendiente tendrán una temperatura inferior y mayor riesgo de heladas mientras que las situadas en la parte media de la pendiente. Para especies caducifolias de fruta dulce, la orientación hacia el Sur haría que los cultivos adelantaran la floración en primavera aumentando el riesgo de daños en caso de helada. Aquellas parcelas situadas por encima de obstáculos (paredes, cortavientos, vegetación, construcciones, etc.) que dificulten el drenaje natural del aire frío serán normalmente más frías. El conocimiento de los patrones de temperatura es muy útil también para localizar obstáculos que interfieren en el drenaje del aire frío, la colocación de barreras que puedan desviar las corrientes de aire frío o la localización óptima de sistemas de control de helada basados en el movimiento del aire (Figura 47).

¹⁴ The Climate Box. <https://theclimatebox.com/es/>

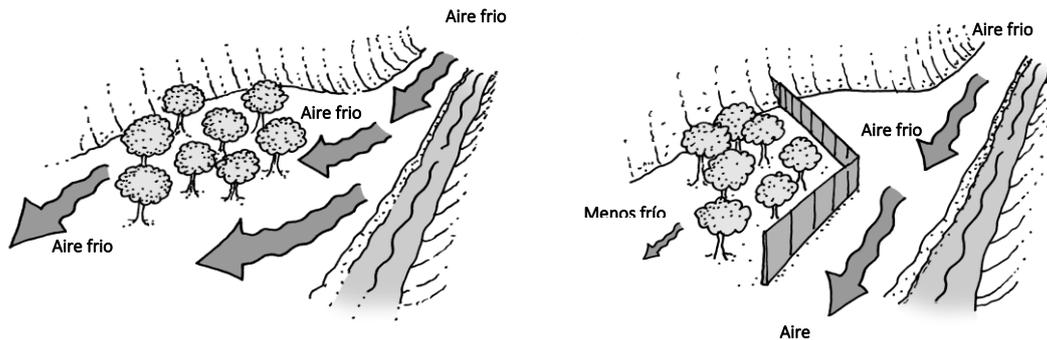


Figura 47.- Corrección de las corrientes de aire frío con vallas para proteger plantaciones.
Fuente: (Snyder y de Melo-Abreu, 2010).

Por otro lado, antes de hacer la plantación y para caracterizar el emplazamiento habría que establecer la probabilidad y el riesgo de daños de helada en base a datos históricos de temperaturas. Hay disponibles también varios programas de cálculo que permiten calcular estos aspectos en una zona determinada (Snyder et al, 2005). Algunos de estos programas incluyen estudios económicos y de retorno de inversión para diferentes sistemas de protección teniendo en cuenta los riesgos de pérdida de producción por helada. Las hojas de cálculo correspondientes se pueden encontrar en varios sitios de internet¹⁵.

En la selección del emplazamiento, el tipo de suelo también tiene una incidencia sobre las heladas. Especialmente cuando están secos, los suelos con texturas arenosas transfieren el calor mejor que los arcillosos y mucho mejor que los suelos orgánicos y serían más favorables para evitar el efecto de las heladas.

E.1.2. Prácticas de cultivo

Una vez realizada la plantación hay una serie de actividades y prácticas que tienen un efecto sobre los daños provocados por las heladas y que podrían reducir la necesidad de medidas de lucha activas. En nuestras condiciones algunos de los principales métodos de protección pasiva serían:

▪ Correcta nutrición

Desde el punto de vista de las heladas primaverales, una correcta nutrición de los árboles la campaña anterior, manteniéndolos en vegetación activa el máximo tiempo posible retrasarían la brotación y floración y reducirían el riesgo de heladas por el retraso del ciclo del cultivo.

Algunos estudios han mostrado que un exceso de nitrógeno puede perjudicar la protección de los cultivos contra las bajas temperaturas (Scagel et al., 2010). Esto se atribuye a un aumento del crecimiento vegetativo y, en consecuencia, a una mayor susceptibilidad de los tejidos al estrés por helada.

▪ Sistemas de formación y poda

Los sistemas de formación con árboles altos se pueden considerar como un sistema de protección en base a la posibilidad de que una parte de la cosecha, situada en las partes más altas, se pueda

¹⁵ www.agroorbi.pt/livroagrometeorologia/Programas.html

salvar en caso de heladas de radiación donde la temperatura más baja se da en la zona más próxima al suelo. Esta es una práctica habitual en zonas donde este tipo de heladas es frecuente.

Una poda tardía retrasaría la brotación y floración mientras que una poda muy temprana incidiría en su adelantamiento y, por lo tanto, en un aumento del riesgo de daños por helada. En este sentido se llevó a cabo una experiencia evaluando distintas fechas de poda en un viñedo en Samaniego en Rioja Alavesa en el marco del proyecto POCTEFA VITISAD (<https://www.vitisad.eu/?lang=es>) en colaboración con Bodegas OSTATU en el año 2021. Se realizó la poda en los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril y se observó un retraso en el desborre de 7 días en la poda de marzo y de 12 días en la poda de abril con respecto a las podas más tempranas. En cuajado continuaba el retraso porque en las podas del mes de marzo y abril ocurrió 5 y 9 días más tarde respectivamente. Incluso en enero el ciclo de crecimiento continuaba más retrasado, aunque las diferencias ya fueron menos destacadas¹⁶. En los años posteriores se continuó obteniendo medidas de calidad en uva al final de la fase de maduración porque el objetivo del proyecto era la adaptación al cambio climático y se pretendía evaluar prácticas que permitieran un alargamiento del ciclo del viñedo para evitar maduraciones en épocas tempranas muy calurosas. Así, cabe destacar que en los años 2021 y 2023 se consiguió una ligera bajada de pH significativa en la poda del mes de abril. El proyecto An-Gel Sudoe va a permitir continuar con el ensayo y realizar de nuevo medidas de fenología que nos ayudarán a conocer con más detalle el retraso en fases iniciales que constituye una medida de defensa contra las heladas primaverales. Es interesante comprobar si los retrasos observados en el año 2021 se mantienen o si en función de la campaña pueden reducirse o aumentarse los días de diferencia en las fases iniciales del cultivo observados en las podas tardías.

En caso de utilizar sistemas de protección basados en aspersión o microaspersión los sistemas de formación con estructuras de apoyo y ramas no demasiado largas reducirían la rotura de estas ramas en situaciones de mucha producción de hielo.

▪ Manejo del suelo

Desde el punto de vista de la defensa frente a las heladas, el objetivo de las diversas prácticas sería que el suelo almacenara el máximo de la energía que le pueda llegar en forma de radiación a lo largo del día y que tuviera la máxima capacidad para poder transmitirla por la noche para amortiguar la bajada de temperaturas.

El no labrado y la compactación del suelo mejora esta capacidad de almacenamiento y transmisión de calor porque hay menos proporción de aire (que transmite mal el calor) en el perfil del suelo. Igualmente, una situación con un contenido de agua del suelo a capacidad de campo en la que no haya agua sobre la superficie es la más favorable para la transmisión térmica.

El suelo desnudo, sin cobertura de hierba, aumenta la absorción de radiación y su transferencia. Cuando mayor es la altura de la capa herbácea más diferencia de temperatura hay con el suelo desnudo (hasta 2°C con hierba de 5 cm) (Snyder y De Melo-Abreu, 2005).

¹⁶ Guía Prácticas vitícolas y adaptación al cambio climático en la zona POCTEFA (Programa INTERREG V-A España-Francia-Andorra) <https://www.vitisad.eu/wp-content/uploads/2022/05/guide-vitisad-es-v3-1.pdf>

E.1.3. Francia. Defensa pasiva en el castaño

La protección comienza con la elección del lugar de plantación en función del riesgo de heladas (Union Interprofessionnelle de la châtaigne du Sud-Ouest, 2022). La sensibilidad de la vid a las heladas es similar a la del castaño, por lo que puede utilizarse como referencia. Así pues, los factores de riesgo son las situaciones propensas a las heladas, como los valles, las laderas bajas, sobre todo donde el frío no puede drenar, y las laderas orientadas al suroeste con suelos arenosos propicios a la brotación precoz. Por lo tanto, es importante utilizar los datos meteorológicos de la zona antes de elegir un emplazamiento (L'heureux, 2023).

El libro del Ctifl Protection des vergers contre les gelées printanières (Vaysse y Jourdain, 1992) puede servir de modelo de referencia para la disposición en función de la situación geoclimática, la elección de las especies y variedades (véase el apartado 2.1.1) o el diseño del entorno del huerto de castaños.

A través de los boletines técnicos de Châtaigne Sud-Ouest, los productores tienen acceso a información sobre los riesgos y las formas de proteger los castaños de las heladas. Las estrategias propuestas a los productores son las siguientes (Union Interprofessionnelle de la châtaigne du Sud-Ouest, 2024):

1. Mantener una cubierta vegetal muy baja entre hileras en todo el huerto varios días antes del riesgo de heladas, procurando no tener un mantillo constante que podría tener un efecto aislante y, por tanto, limitar la radiación de calor del suelo hacia arriba;
2. Deshierbe de las hileras;
3. Mantener una capa gruesa de mantillo al pie de los árboles jóvenes;
4. Aplicar un encalado en el tronco, especialmente en los árboles jóvenes de entre dos y cuatro años y en las parcelas más heladas. Existen los siguientes productos: BNA pro (hidróxido de calcio, diluido al 50%, pulverizado sobre el tronco, o ligeramente diluido como encalante), Calciblanc (hidróxido de calcio + aditivo mineral, polvo diluido al 8%, aplicado con brocha o pulverizador), Baïkal (caolín, diluido al 5-8%) y Caliamu (carbonato de calcio, diluido al 6%), cuya resistencia a la lixiviación es menos conocida. Se recomienda mantener el blanqueo si ha llovido mucho;
5. La protección con Tubex de las plantas jóvenes puede limitar en cierta medida el riesgo de quemaduras de sol/escarcha en los troncos.

Estos elementos son los descritos en la bibliografía, pero habrá que validarlos durante el proyecto.

E.1.4. Portugal

Las heladas en Portugal, sobre todo en las regiones del interior septentrional y central, suelen causar daños en importantes frutales de hoja caduca como el manzano, el cerezo y el almendro. Los ingresos de los agricultores se ven gravemente afectados y la no estabilización de la producción también tiene consecuencias para las empresas y cooperativas del sector. Además de reducir la producción, las heladas provocan deformaciones y otros defectos en la fruta, lo que reduce su valor comercial. A pesar del elevado riesgo de heladas y de la importancia económica y social de la agricultura en estas regiones, la mayoría de los productores no protegen activamente sus cultivos contra las heladas.

En los últimos años, algunas prácticas culturales, especialmente en lo que se refiere a la gestión del suelo, como el uso de cubiertas vegetales (espontáneas o sembradas) han funcionado como una buena práctica pasiva para combatir las heladas. No labrar el suelo, sobre todo en primavera, contribuye a aumentar el flujo de calor en el suelo y el consiguiente aumento de la temperatura superficial en las noches de heladas. En cuanto a los métodos pasivos, algunos productores vienen realizando podas tardías para retrasar los primeros estadios fenológicos, especialmente en viticultura.

En cuanto a los métodos pasivos, todavía existe un gran desconocimiento por parte de los productores sobre el tipo de métodos que se pueden utilizar y sus ventajas. Se necesita más publicidad y demostraciones para sensibilizar a los productores para que adopten métodos pasivos de control de heladas que puedan complementarse con métodos activos en condiciones de heladas más severas.

Referencias

- Lheureux, F. 2023. La châtaigne. Monographie. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, France. 334p.
- Scagel, C. F., Regan, R. P., Hummel, R., & Bi, G. (2010). Cold Tolerance of Container-grown Green Ash Trees Is Influenced by Nitrogen Fertilizer Type and Rate. *HortTechnology hortte*, 20(2), 292-303. doi.org/10.21273/HORTTECH.20.2.292
- Snyder, R. L.; De Melo-Abreu, J. P. 2005. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Vol. I. Naciones Unidas, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 223 págs.
- Snyder, R. L., De Melo-Abreu, J. P., Matulich, S. 2005. Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Vol. II. Naciones Unidas, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 64 págs.
<http://www.fao.org/docrep/008/y7231e/y7231e00.htm>
- Union Interprofessionnelle de la châtaigne du Sud-Ouest. (2018). Bulletin d'information de l'Union interprofessionnelle. 13p.
- Union Interprofessionnelle de la châtaigne du Sud-Ouest. (2022). Créer un verger de châtaigniers, éléments technico-économiques. 6p.
- Union Interprofessionnelle de la châtaigne du Sud-Ouest. (2024). Bulletin technique châtaigne Sud-Ouest N°2. 9p.
- Vaysse, P. et J.M. Jourdain. (1992). Protection des vergers contre les gelées printanières. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes, Paris, France. 113p.

E.2. Defensa activa contra heladas

Los medios de protección activa son aquellos que se utilizan cuando se está produciendo (o está a punto de producirse) la helada con el fin de contrarrestar sus efectos.

En muchos casos la capacidad de predicción de las heladas es fundamental para poder implementarlos y ponerlos a punto con la suficiente antelación para que sean efectivos.

La lucha activa contra las heladas se basa en la aplicación de varios principios físicos diferentes:

- Aportación de calor suplementario a la parcela de producción
- Aprovechamiento del calor latente liberado en el proceso de congelación del agua
- Homogeneización del aire estratificado a diferentes temperaturas.

E.2.1. Sistemas basados en la aportación de agua

Estos sistemas se basan en la liberación de calor latente que se produce en el momento en que el agua pasa del estado líquido al de hielo. Para conseguir el calor suficiente para contrarrestar la helada hay que aportar agua en cantidad y frecuencia suficiente para mantener una cantidad de hielo fundente sobre las plantas y el suelo, de manera que la temperatura se conserve por encima de la temperatura crítica que produciría daños en los cultivos.

Son los sistemas que ofrecen la máxima protección en las diversas condiciones de helada siempre que se cumplan las condiciones correctas en su diseño, mantenimiento y funcionamiento. Es muy importante disponer de una cantidad de agua suficiente para cubrir toda la duración de la helada, puesto que cuando se pone en marcha el sistema, una parada del mismo durante el periodo de helada provocaría daños más importantes que si no se hubiera puesto en marcha el riego.

Para que todos estos sistemas basados en el agua funcionen **correctamente, es esencial disponer de termómetros de bulbo húmedo o psicrómetros** que indiquen la temperatura de bulbo húmedo y no sólo la temperatura del aire, a fin de tener en cuenta el efecto de cualquier evaporación de agua cuando el sistema se pone en marcha.

Los sistemas de aplicación de agua se describen a continuación.

E.2.1.1. Aspersión sobre las plantas

Las características más habituales de este sistema son (Figura 48):

- Protección hasta -7°C si se dispone de caudales y uniformidad de aplicación óptimas
- Intensidad de precipitación: alrededor de 4 mm/ha hora (40.000 l/ha y hora)
- Marcos de aspersión normales: 15 x 15 a 18 x 15 m.
- Presión de trabajo: 3,5 - 4,5 bar



Figura 48.- Instalación de riego por aspersión en melocotoneros (izquierda). Modelos de aspersor específicos para aspersión antihelada en material plástico (centro) y metálico (derecha).

Como ventajas principales está su **capacidad de protección frente a los diversos tipos de heladas**, la **facilidad de automatización** y la relativamente **escasa afectación al medio ambiente** y al entorno (más allá del consumo de agua necesaria para su funcionamiento). Además, el sistema podría ser utilizado en otras actividades como el riego refrescante o el “lavado” de los árboles como sistema de defensa contra algunas plagas.

Sus limitaciones principales, aparte de la **disponibilidad de agua**, son la posible acumulación de agua en el suelo con posibilidad de asfixia radicular si se debe poner en marcha varias noches consecutivas, la rotura de ramas por el peso del hielo y la necesidad de revisión y mantenimiento muy cuidadoso del sistema. Igualmente, su utilización en el momento de la floración de las especies de frutales (especialmente en fruta de hueso, y sobre todo en especies de difícil cuajado, como son albaricoquero, ciruelo y cerezo) puede provocar el lavado del polen y una pérdida de cuajado considerable.

E.2.1.2. Microaspersión sobre plantas

Funciona con el mismo fundamento que la aspersión convencional, pero reduciendo el volumen de agua aplicado manteniendo en lo posible el nivel de eficacia. Esto se consigue cambiando el tipo de emisores (de menor caudal y alcance y tamaño de gota más fina) y con aplicación de agua continuamente o en pulsos muy cortos. En los últimos años se han desarrollado microaspersores que permiten localizar el agua sobre las hileras de los árboles o incluso sobre los árboles individualmente con lo que se produce una mejora en la eficiencia de la protección.

Las características más habituales del sistema son:

- Intensidad de precipitación: 1,5- 3 mm/ha hora (15-30.000 L/ha y hora)
- Requiere una filtración más intensa que en la aspersión convencional
- Debido al escaso diámetro los conductos hay que iniciar el funcionamiento siempre por encima de 0°C para evitar que se hielen. El sistema debería vaciarse después de cada riego.

E.2.1.3. Microaspersión pulsante sobre plantas

Se busca reducir el consumo de agua intentando mantener la eficacia de la protección utilizando sistemas que provoquen una pulsación en la aplicación del agua (Figura 49).



Figura 49.- Instalación de un sistema de microaspersión pulsante. (Izquierda) y tres modelos de microaspersores con sistema pulsante (Derecha).

Utilizan una precipitación de alrededor de 1-1'5 mm/ha y hora de agua y para su manejo hay que seguir las mismas consignas que en el sistema de microaspersión convencional.

Estos sistemas de bajo caudal no se han probado en todas las regiones de Europa y podrían no proporcionar suficiente energía en caso de heladas severas por debajo de -4°C . Se están realizando ensayos en el IRTA y los resultados se publicarán al final del proyecto Sudoe An-Gel.

E.2.1.4. Aspersión/microaspersión bajo los árboles

Consiste en la instalación de un sistema de aspersión o microaspersión por debajo de la cabezada de los árboles. En este caso se busca mantener la temperatura del suelo en torno a los 0°C para aumentar indirectamente la temperatura del ambiente. El potencial de defensa contra heladas sería inferior respecto al sistema situado sobre los árboles, pero tendría otras ventajas como la no rotura de ramas, el lavado del polen en algunas especies o la posibilidad de usarlo en combinación con cubiertas o mallas.

Para el correcto manejo de estos sistemas en relación con el arranque y parada es **imprescindible disponer de termómetros de bulbo húmedo o psicrómetros** que indiquen la temperatura del bulbo húmedo y no sólo la temperatura del aire, de manera que se tenga en cuenta el efecto de la posible evaporación del agua al arrancar el sistema.

E.2.2. Sistemas basados en el movimiento del aire

Estos sistemas se basan en mover las capas de aire que presentan una estratificación de temperaturas cuando se dan condiciones de inversión térmica de forma que en las capas altas la temperatura del aire es más elevada que en las más bajas en contacto con las plantas. Con el movimiento del aire se busca romper la estratificación de las capas de aire y hacer bajar el aire más caliente situado por encima de las plantas hasta un nivel que permita aumentar la temperatura del aire que rodea las plantas y evitar la helada.

Las situaciones más favorables para su éxito se dan en zonas planas y plantaciones relativamente grandes. **Sólo funcionan en condiciones de helada de radiación con una elevada inversión térmica** y una capa de inversión situada entre los 5 y los 25 m sobre las plantas. Un ejemplo de la distribución de temperatura respecto a la altura típica de este tipo de heladas se muestra en la Figura 50.

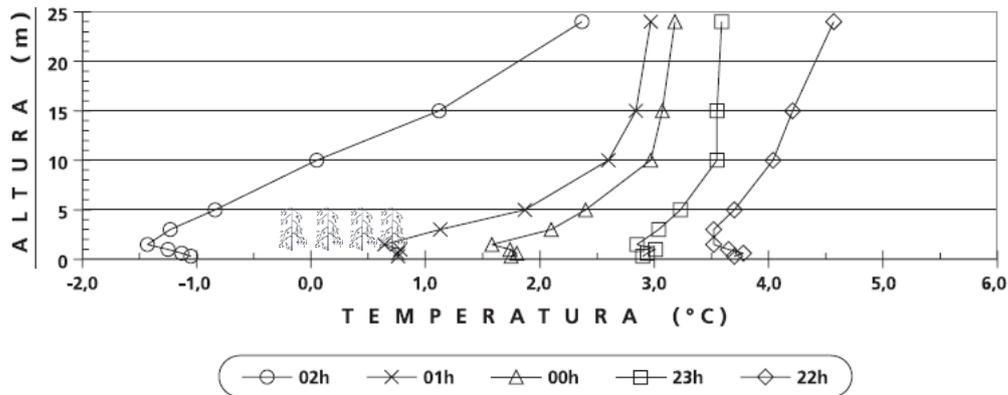


Figura 50.- Desarrollo de las condiciones de inversión térmica a diferentes horas de la noche en una parcela de manzanos en Portugal. Basado en Snyder y de Melo-Abreu,2005, 2010.

El beneficio real depende de la fuerza de la inversión térmica que es la diferencia de temperatura en altura (por ejemplo, a 15 m) y la temperatura a la altura de las plantas (1,5 m). Según diferentes autores el incremento de temperatura estaría entre el 30% y el 50% de esta diferencia de temperatura (Hu et al., 2018). Hay que tener en cuenta también que el efecto sobre la temperatura disminuye de forma importante con la distancia a la torre (Reese & Gerber, 1969).

Actualmente existen varios modelos de torres de ventilación fijas de diversas alturas y dimensiones de las palas y de equipos móviles también de varias potencias y dimensiones.

En cuanto al sistema de propulsión existe la opción de utilizar motores diésel estáticos independientes de varias potencias en función de su tamaño de las palas. También hay modelos con motores eléctricos o propulsados por la toma de fuerza del tractor.

Ventiladores. Torres fijas

Los ventiladores fijos están constituidos por una torre de acero con un ventilador rotatorio en la parte superior con 2 a 5 palas con diámetros de 3 a 6 m que están ligeramente inclinadas hacia abajo (6-7°C) para mejorar su eficacia. Están movidos por un motor, normalmente diésel de alta potencia, situado en la base de la torre y hay que instalar una base de hormigón para su sujeción al terreno.

La altura al suelo suele ser de alrededor de 10 – 11 m, y la hélice debería dar una vuelta de 360° entre 3-5 minutos (Figura 51).



Figura 51.- Parcela de melocotoneros protegida con torre fija de ventilación Orchard Rite.

Comercialmente se afirma que pueden tener una cobertura entre 3 y 7 ha en función del diseño y la potencia y, por lo tanto, en superficies grandes, habría que instalar varios de forma que se solapase su acción para conseguir una mayor eficacia.

Los ventiladores, como muy tarde, deberían ponerse en marcha cuando la temperatura del aire llega a los 0 °C, pero en caso de que las plantas estuvieran mojadas habría que hacerlo antes para no generar una helada por evaporación para intentar secarlas antes de que se forme hielo sobre el fruto. Los ventiladores deberían estar funcionando cuando se llega a la temperatura crítica de daño.

Con una velocidad del viento superior a los 2,5 m/s (8 km/h), el sistema no aporta ninguna mejora e incluso se podrían producir daños en la hélice. Por lo tanto, no se debe poner en marcha en estas condiciones.

El ruido y las vibraciones ocasionadas es un problema importante que puede condicionar mucho su utilización en zonas próximas a núcleos habitados. Con los modelos de más de 2 aspas el efecto del ruido es menor.

Ventiladores portátiles

Se basan en el mismo principio que las torres fijas, pero tienen una menor potencia y cubren una superficie más pequeña. Pueden ser desplazados entre parcelas o almacenados cuando no se utilizan lo que les da más versatilidad y un menor impacto paisajístico. No es necesario instalar soleras de hormigón sobre el terreno para asegurar su estabilidad.

Existen diversos fabricantes y modelos con diferentes potencias, alturas y coberturas (Figura 52). Están propulsados por motores de combustión o eléctricos.



Figura 52.- Varios modelos de ventiladores móviles.

Presentan también las mismas limitaciones que los sistemas estáticos.

Sistemas SIS (Sumidero invertido selectivo)

Es un método desarrollado en Uruguay que consiste en un ventilador en posición horizontal que coge el aire más frío de las partes bajas y lo impulsa en vertical fuera de la zona de influencia de las plantas (Figura 53).

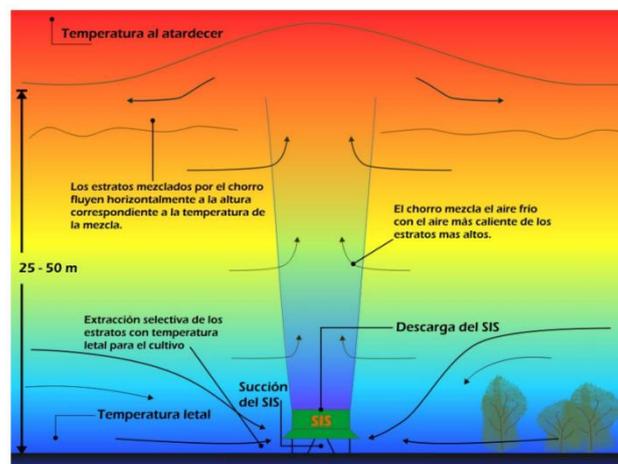


Figura 53.- Funcionamiento teórico del sistema SIS. Fuente: Frost Protection.com

Funcionaría únicamente en heladas de radiación y principalmente en parcelas situadas en la parte baja de topografías en forma de valles pequeños o cubetas donde el aire frío volvería a bajar de forma natural y el sistema compensaría esta circulación.

El objetivo es proteger de las heladas con una menor inversión y consumo de energía. Comercialmente, hay dos tipos de modelos (15 y 50 CV) aunque con el tiempo se han hecho versiones muy diferentes en cuanto a diámetros y potencias (Figura 54).



Figura 54.- Modelos de sistemas SIS. Izquierda Uruguay (Fuente: <http://www.produccionnacional.com.uy/frost-protection/>) Derecha: España (Fuente: SATGarden Control heladas).

Los resultados publicados hasta el momento indican una baja eficacia del sistema (Hu et al., 2015) y su se abandonó en la región de Moyenne-Garonne al no ofrecer resultados suficientemente satisfactorios.

E.2.3. Sistemas basados en el aporte de calor

Con estos sistemas se busca suministrar suficiente calor para compensar las pérdidas de energía de los cultivos en las situaciones de helada y que las temperaturas no bajen de los umbrales de daños de los cultivos a proteger.

Es la forma más intuitiva y primaria de luchar contra las heladas y la que se ha usado tradicionalmente quemando diversos materiales para producir calor (restos vegetales, paja, combustibles fósiles, aceites, neumáticos, etc.) muchas veces en forma de fuego abierto. Actualmente, la forma de hacerlo es con estufas metálicas de mayor o menor dimensión, capacidad marisquera y combustible o con botes de parafina.

El sistema es más eficiente en algunas situaciones:

- En heladas de radiación con inversión térmica fuerte
- Cuando más puntos de calor haya y más repartidos estén en la parcela. Si la inversión térmica es débil y las fuentes de calor puntuales son demasiado grandes y con alta temperatura, el aire calentado sube demasiado y la energía se pierde en el espacio por encima del cultivo, disminuyendo mucho la eficiencia.
- Los sistemas más eficientes tienen poca llama por encima de la chimenea y no fumean. El humo no ayuda y contamina el medio ambiente
- Cuando los laterales de la parcela están reforzados por otras líneas de calefacción o setos cortafrío.

Son sistemas que requieren un elevado consumo de energía para su funcionamiento, habitualmente de origen fósil.

Aunque se están haciendo esfuerzos para mejorar en este aspecto, la producción de humo puede representar una molestia para los vecinos y tener un cierto impacto medioambiental.

E.2.3.1. Estufas

Es el sistema más antiguo y tradicional de aportación de calor. Se realiza mediante la utilización de diversos combustibles orgánicos (pellets, briquetas de madera, etc.) o combustibles fósiles como gas o gasóleo. Algunos de los modelos de estufa se muestran en la Figura 55.

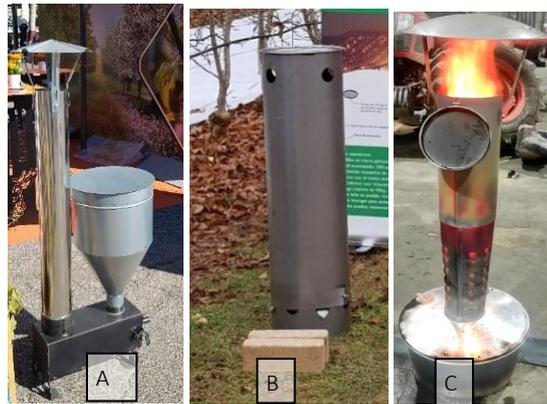


Figura 55.- Modelos de estufas de diversos combustibles: modelo Viti-Chauffe de pellets (A), modelo Wiesel de briquetas de madera (B) y gasóleo (C).

Son sistemas muy caros en la inversión inicial y por la elevada necesidad de mano de obra para su distribución sobre el terreno, encendido y mantenimiento en el momento de la helada, aparte del coste del combustible empleado.

Su ámbito de aplicación más adecuado sería en fincas pequeñas con una frecuencia de heladas baja y con producciones de alto valor comercial en las que no hubiera la posibilidad de utilizar ningún otro método de lucha.

E.2.3.2. Botes (Velas) de parafina

Las velas o botes de parafina están constituidos por un volumen de este elemento junto con una mecha para mantener el fuego encendido. Tienen una capacidad entre 5,5 y 6,5 L que les da una duración de entre 10 y 12 horas (Figura 56). El nivel de protección alcanzado dependerá de la cantidad de botes que se utiliza, que iría entre 150 y 450 por ha. Según los datos de la empresa, el incremento de temperatura se situaría entre, entre 2 y 6°C¹⁷, aunque en un experimento de campo en condiciones reales realizado por la propia empresa la ganancia de temperatura (con una densidad de 333 velas/ha) fue de un máximo de 2,6°C con una media de 2,2°C¹⁸.

¹⁷FIREFROST.-Información no vinculante de la 'empresa: <https://firefrost.es/productos/>

¹⁸ Memoria final de proyecto ECOVELAS. <https://www.gopasociafruit.com/wp-content/uploads/2020/09/MEMORIA-FINAL-ECOVELAS.pdf>



Figura 56.- Utilización de botes de parafina en protección de frutales y dos modelos comerciales: Firefrost (centro) y Stop-gel (derecha).

Tienen los mismos condicionantes en su aplicación que las estufas y similares ventajas e inconvenientes: El sistema requiere una importante cantidad de mano de obra para repartir, encender y apagar los botes. Su coste es elevado si deben usarse en periodos largos. Adicionalmente, la gestión de su stock es complicada por la incertidumbre en las necesidades puntuales de botes que se tendrán en una explotación y que obliga a invertir anticipadamente un capital importante para asegurar su disponibilidad en los periodos críticos.

En lugar de aumentar la temperatura del aire que rodea las plantas, la calefacción con calefactores o velas calienta principalmente por radiación las partes de las plantas sensibles a las heladas. El aire calentado por el sistema asciende casi verticalmente, y gran parte de la energía producida se pierde por encima de la cubierta, sin ningún beneficio para las plantas. En cambio, la chapa calentada por la combustión irradia a una distancia de unos diez metros, sobre todo en el caso de los calefactores provistos de chimenea, que tienen una superficie radiante mayor que las velas.

E.2.3.3. Calefactores móviles

Son sistemas calefactores montados sobre chasis para ser arrastrados con tractores por la plantación mientras se está produciendo la helada. Generan aire caliente que se impulsa perpendicularmente a la dirección del avance del tractor usando como combustible gas propano o materiales orgánicos (paja, madera, etc.) (Figura 57).



Figura 57.- Diferentes modelos de calefactores móviles. Izquierda: Calefactor de propano. Centro: Sistema Frostbuster de propano. Derecha: Modelo Segués Terreco para restos vegetales.

En el mercado existen varios modelos con diferente capacidad energética. Las máquinas deberían moverse por las hileras de los árboles con una separación entre las pasadas en función de los modelos (entre 25 y 100 m) siguiendo un recorrido de manera que volvieran a pasar por el mismo lugar (o un lugar próximo) en un intervalo de tiempo máximo de 8- 10 minutos.

El paso de las máquinas en funcionamiento da lugar a aumentos temporales de la temperatura en los puntos próximos al calefactor, aunque el aumento de la temperatura media de la plantación sea poco importante. Estos aumentos temporales de temperatura producidos por el aire caliente secarían la superficie de las plantas y evitarían la congelación superficial de los órganos de fructificación y, consecuentemente los daños en su interior. En todo caso, la energía que se aporta es muy inferior a la que se pierde en una noche de helada de radiación (Snyder y de Melo-Abreu, 2005). Su eficacia vendría muy limitada en caso de presencia de viento y sería más adecuada para heladas de poca intensidad (Lakatos & Brotodjojo, 2022).

Estos sistemas fueron eficaces durante las heladas ligeras de hasta 3°C, pero no funcionaron en la Moyenne-Garonne durante las heladas de 2021, cuando la temperatura se situó entre -4 y -6°C (Fuente ACMG).

E.2.3.4. Combinación de aportación de calor y movimiento del aire

Para superar las desventajas intrínsecas de los sistemas que suministran calor (elevados costes de mano de obra y combustible) y los que mueven aire (limitados a situaciones de fuerte inversión térmica del aire y ausencia de viento), los productores y fabricantes de torres eólicas han ensayado en los últimos años combinaciones de ambos sistemas.

La combinación de ventiladores (fijos o móviles) con fuentes de calor se plantea como una buena alternativa cuando las condiciones son desfavorables para el uso de ventiladores.

En este sentido en los últimos años se han desarrollado sistemas de calefacción con una elevada potencia calorífica (producida por combustibles fósiles o biomasa) para ser situados en combinación con ventiladores que puedan esparcir el calor generado. (Figura 58).



Figura 58.-Sistema de calefactor antiheladas (pellets) para trabajar en combinación con ventilador.

Igualmente, en la zona de Lleida se están haciendo pruebas combinando el uso de estufas de pequeñas dimensiones (de gasóleo o biomasa) combinadas con ventiladores móviles.

Un elemento esencial en el éxito de estas combinaciones es el lugar de colocación de las estufas para que la distribución del calor sea la idónea según la topografía de la parcela y el movimiento del aire y, por lo tanto, se debería hacer un estudio previo de la dinámica de las masas de aire.

En cualquier caso, intentar empujar el aire caliente horizontalmente o incluso con una inclinación es antinatural porque, por convección, el aire caliente siempre intenta ascender. Las mediciones realizadas en los Pirineos Orientales en los años 90 concluyeron que la superficie protectora de la torre eólica se había reducido, pues ya no empujaba el aire hasta unos 100 m, sino sólo hasta 60 ó 70 m.

E.2.3.5. Mantas térmicas y cubiertas que reducen la pérdida de calor del suelo

La manta térmica agrícola es un agrotexil especialmente desarrollado para la agricultura. Está compuesto de fibras continuas de polipropileno unidas entre sí a través de un proceso de soldadura en caliente. Se instala tanto en el interior de los invernaderos como a cielo abierto o bajo mallas antigranizo. Hay mantas de 17 gr y de 30 gr por metro cuadrado. Su principal función es proteger del frío, las escarchas y las heladas hasta -4 °C. Protege a las plantas del frío, las escarchas y las heladas hasta -4°C, ya que crea un microclima entre la tierra y la manta que favorece el crecimiento de los cultivos, evitando que se deterioren antes de la recolección.

Consideramos que en la superficie de las fibras se forma rocío o escarcha. El agua crea un efecto invernadero al absorber la radiación infrarroja emitida por el suelo y las plantas. A su vez, esta película de agua o escarcha irradia hacia la planta a una temperatura muy superior a la de la bóveda celeste, lo que frena el enfriamiento de la superficie del suelo y las plantas.

El coste puede estar entre 116 € a 131€ /1000 m², según su espesor. Se usan sobre todo en hortalizas.

E.2.4. Estimaciones económicas.

Aparte de las condiciones técnicas de cada uno de los sistemas, las condiciones económicas de su utilización son también determinantes para definir cuáles son los sistemas más indicados en los múltiples contextos que pueden aparecer.

En este apartado se presentarán los resultados de la estimación de costes de los principales sistemas de protección activos que hay a disposición de los productores con precios de España en 2023-2024.

Estimar el coste de la protección obtenida para cada uno de los sistemas es bastante complicado por varios motivos:

- Existe una elevada incertidumbre en la frecuencia, intensidad y tipos de heladas que se pueden producir. En un contexto de cambio climático es muy posible que los patrones climáticos observados en las últimas décadas sean diferentes a los que se puedan producir en los años futuros.
- La frecuencia e intensidad de las heladas (ligadas con el valor económico del cultivo) condicionarán en gran medida la viabilidad del cultivo en una determinada zona o parcela

concreta. En este sentido, es fundamental el estudio previo de las condiciones climatológicas previas a la instalación del cultivo.

- El tipo de heladas (advección y radiación principalmente) condiciona la eficacia de los sistemas y en algunos casos, como los basados en el movimiento del aire para mezclar capas con estratificación de temperaturas, son totalmente ineficientes en caso de que no haya inversión térmica. En todo caso, la defensa contra heladas de advección producida por la entrada de aire frío con presencia de viento es mucho más complicada que la defensa contra las heladas de radiación.
- El nivel de protección de algunos sistemas es variable en función de la intensidad de aplicación de varios elementos (volumen de agua por ha en el caso de aspersión y microaspersión) o concentración de estufas o velas de parafina por superficie en los sistemas basados en aportación de calor). Por lo tanto, habrá que considerar también hasta qué grado de protección se quiere o se puede llegar.
- Actualmente, nos encontramos en un contexto global de alta volatilidad de los precios, especialmente los ligados a las fuentes de energía y a algunos materiales o componentes, que se refleja en una gran variabilidad en los costes finales de fabricación de los sistemas y de los combustibles empleados en su funcionamiento.

Por lo tanto, las valoraciones que se hagan deben ser necesariamente consideradas como **una estimación aproximada (basada en unas condiciones concretas) que sólo se deben tomar a efectos orientativos.**

El coste global del control de heladas se desglosará entre los costes fijos (inversiones, mantenimiento y almacenamiento) que se producirán tanto si hay heladas como si no, y los variables (preparación, manejo y funcionamiento del sistema) que serán proporcionales al número de heladas anuales y a su duración. A continuación, se describen estos conceptos:

- **Coste de inversión.** Corresponderá a las máquinas o instalaciones a comprar o instalar en las parcelas de forma permanente. Serán, por ejemplo, las instalaciones de riego por aspersión o microaspersión, los ventiladores (fijos o móviles) o las estufas.
- **Coste de mantenimiento y almacenamiento de las instalaciones y máquinas.** Para garantizar el éxito en el control de las heladas hay que tener la máxima seguridad de que los sistemas funcionarán correctamente en el momento en que se necesite y que no habrá averías que podrían provocar unas pérdidas incluso superiores a las que se hubieran producido sin el sistema de protección. Los sistemas de riego deben estar revisados previamente, asegurando que no hay fugas y que las bombas, aspersores o microaspersores están en perfectas condiciones de funcionamiento. Lo mismo se puede decir para el caso de ventiladores fijos o móviles o en los sistemas que comportan la utilización de máquinas y motores. Por otro lado, aquellos sistemas que se pueden desplazar (estufas, ventiladores móviles), es necesario que se conserven en buenas condiciones, en almacenes protegidos de las inclemencias meteorológicas para asegurar su duración en el tiempo.
- **Coste de preparación para la puesta en marcha del sistema.** Estos costes se producirían cada vez que se prevea una helada, independientemente de que, finalmente, la helada se acabe produciendo o no, y de su duración o intensidad. Incluirán aquellas actividades como la distribución y carga de combustible de estufas o velas de parafina (y su retirada, una vez superado el periodo de heladas), desplazamiento de sistemas móviles de ventiladores, etc.

- **Coste de manejo y funcionamiento del sistema durante la helada.** Se producirán principalmente a partir del momento en que se ponen en marcha los sistemas de protección. Se corresponderían, por un lado, al coste de la mano de obra necesaria para controlar, poner en funcionamiento, supervisar, mantener y detener el sistema (en caso de que finalmente el sistema no se metiera en marcha el coste de supervisión también debería considerarse). Igualmente, incluirá el coste de los combustibles, del agua o de las fuentes de energía (combustibles fósiles, biomasa, electricidad) necesarios para el mantenimiento del sistema mientras se está produciendo la helada. Los cálculos se hacen considerando una helada de 10 horas.

Las peculiaridades de los principales sistemas de control de heladas desde el punto de vista del cálculo de costes se describen a continuación.

E.2.4.1. Velas y estufas

Como se ha explicado en el apartado E.2.1, hay diferentes opciones de sistemas que aportan calor directamente a la parcela de cultivo. Para el estudio económico se consideran 4 opciones:

- Velas de parafina
- Estufas diésel
- Estufas de briquetas de madera modelo Wiesel, originario de Austria
- Estufas de pellets correspondiente al modelo Viti-Chauffe, de diseño y patente francesa

La comparación de estos sistemas es complicada porque cada uno tiene unas características diferentes desde el punto de vista de la mayor o menor facilidad de almacenamiento, distribución y manejo durante la helada. Por otro lado, las diferencias en la potencia calorífica y el diseño de cada sistema hacen que el número de unidades por hectárea para conseguir condiciones similares sean muy diferentes. En este sentido, los datos sobre los incrementos de temperatura conseguidos por los sistemas son escasos y, en la mayoría de los casos, suministrados por las empresas comercializadoras y algunas experimentaciones realizadas en otros países europeos. No se dispone de ensayos comparativos independientes realizados en nuestras condiciones.

Para realizar el estudio se considera un número de unidades de cada sistema por cada hectárea que dé un aporte de calor (basada en el poder calorífico del combustible y en el consumo horario de cada sistema) y un aumento teórico de la temperatura similar entre ellos (Tabla 2).

Tabla 2.- Características estimadas para los diferentes sistemas de aportación de calor estudiados.

<i>Sistema</i>	<i>Modelo</i>	<i>Combustible</i>	<i>Capacidad sistema (kg)</i>	<i>Tiempo combustión (horas)</i>	<i>Poder calorífico (Kcal/kg)</i>	<i>Velocidad combustión (kg/hora)</i>	<i>Energía liberada (kcal / hora)</i>	<i>Densidad utilización (Ud/ha)</i>	<i>Energía liberada (Kcal/ha)</i>
Velas	Firefrost	Parafina	5,8	12	11.000	0,48	5.313	400	2.125.200
Estufa	Común	Gasoil	34	10	10.250	3,40	34.850	60	2.091.000
Estufa	Wiesel	Briquetas	20	6	4.700	3,33	15.667	135	2.115.000
Estufa	Viti-Chauffe	Pellet	30	8	4.700	3,75	17.625	120	2.115.000

Aparte del coste económico, hay otros aspectos más favorables o desfavorables en la utilización de cada uno de los sistemas. Los que usan combustibles basados en biomasa (pellets o briquetas) son mucho más sostenibles y participan del concepto de economía circular. Al mismo tiempo generan mucho menos humo que los basados en combustibles fósiles (gasóleo o parafina). Como aspectos negativos, la manipulación de los combustibles sólidos y el encendido de las estufas es más complicada que en el caso de las velas de parafina.

E.2.4.2. Aspersión y microaspersión

En los sistemas de control basados en la aplicación de agua (aspersión y microaspersión) la inversión a realizar es muy variable en función de las características previas de la parcela (superficie regada desde una misma caseta de riego, topografía, bombeo o presión natural para la presurización del agua, calidad del agua, etc.). Cada explotación requeriría un estudio detallado de los condicionantes y los costes de la instalación. Para la estimación de estos costes se ha considerado que, en muchos casos, las mismas instalaciones se utilizarán para el riego de los cultivos y por tanto, para la protección de heladas se ha atribuido una parte de la inversión en el sistema de riego.

En los sistemas de riego por aspersión, dado el mayor volumen de agua aplicado, hay que instalar un sistema de tuberías principales y secundarias para el transporte de agua a parcela con más capacidad que las utilizadas para el riego a goteo. Cuando se utilizan sistemas de microaspersión el caudal utilizado es más similar al del goteo y en muchos casos se pueden aprovechar las mismas tuberías y por lo tanto reducir inversiones.

En cuanto al coste de manejo también es variable en función de la topográfica del terreno y las necesidades de elevación del agua asociadas y de la disponibilidad de presión natural que no requiera la utilización de una fuente de energía externa. Igualmente, el coste del agua también puede ser bastante variable en función de su origen.

E.2.4.3. Calefactores móviles

Para hacer la estimación se toma como referencia el modelo Frostbuster 501 de la empresa Agrofrost. En este caso el combustible utilizado es propano. Con esta máquina se recomienda realizar un circuito por la parcela a proteger a una velocidad máxima de 7,5 km/h, realizando pasadas por las hileras de cultivo con una separación máxima entre ellas de 100 m. Según las indicaciones de los desarrolladores de la máquina, hay que asegurar que se vuelve a pasar con el calefactor por el mismo puesto cada 9 min como máximo. En estas condiciones con una máquina se podría cubrir una superficie de unas 7 ha.

Como ya se ha mencionado, el incremento de temperatura global en la parcela sería escaso y el efecto beneficioso vendría dado por el calentamiento y la desecación periódica de los órganos de fructificación.

E.2.4.4. Ventiladores. Torres fijas o móviles

En el sistema basado en el movimiento de las capas de aire en situaciones de inversión térmica se pueden utilizar ventiladores fijos o móviles.

Para hacer la estimación económica de los sistemas fijos se ha tomado como ejemplo un modelo de torre de grandes dimensiones (10-11 m de altura). Para este tipo de ventilador, comercialmente se habla de que podrían llegar a cubrir hasta 7 ha. Este valor seguramente es demasiado optimista y se daría sólo en situaciones optimas que, muy frecuentemente, se alejan

de las reales. Para hacer los cálculos se ha considerado que cada aparato cubre una superficie de 4 ha.

En cuanto a los ventiladores móviles se ha tomado como referencia los ventiladores Tow and Blow 250h con un motor de 24 CV, de origen neozelandés (Figura 52). Están indicados principalmente en áreas planas con plantaciones grandes y en condiciones de inversión térmica y ausencia de corrientes de aire. En zonas no planas es importante estudiar la colocación de los ventiladores siguiendo el movimiento de las masas de aire. No hay estudios publicados sobre la superficie de cobertura de los ventiladores. Comercialmente, la empresa fabricante postula que llega hasta 5,5 ha que, como en el caso anterior, este valor seguramente está sobredimensionado para las condiciones reales. Para hacer los cálculos se considera una superficie de cobertura de 2,5 ha.

Sería interesante proporcionar una cifra de costes de explotación basada en el aumento de temperatura previsto, pero este tipo de estudio no existe. Sólo la experiencia demuestra que los sistemas que utilizan calefacción o circulación de aire fueron incapaces de proteger contra las heladas por radiación a temperaturas inferiores a $-3,5^{\circ}\text{C}$ o -4°C durante al menos 15 minutos, mientras que los sistemas que utilizan pulverización aérea (con $40\text{m}^3/\text{h}$. ha) proporcionaron protección hasta -6°C .

En base a todas estas consideraciones se ha realizado la estimación de los costes de los principales sistemas de defensa activa y los resultados se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.- Resumen de las características principales y costes de inversión y funcionamiento de diversos sistemas de protección activa frente a las heladas.

Sistema	Aspersión	Microaspersión	Velas parafina	Estufas Briquetas	Estufas Pellets	Estufes diésel	Torres antihelada fijas	Ventiladores portátiles	Calefactor móvil
<i>Características principales</i>	Caudal: 35-45 m ³ /ha hora Presión:35-45 m.c.a	Caudal: 15-25 m ³ /ha y hora Presión: 15-25 m.c.a	Aporte calor con velas de parafina 6,3 L	Aporte calor briquetas Estufas Wiesel 20 kg	Aporte calor pellets Viti-Chauffe,30 kg)	Aporte calor con gasóleo Estufas 40 L	Movimiento aire torre fija antiheladas 10-11 m de altura	Ventiladores portátiles Tow&Blow 250 h	Frostbuster 501 Vel. Máx. 7,5 km/h frecuencia paso: 9 min. Sup. aprox. 7 ha
<i>Incremento de Tª estimado (°C)</i>	Hasta 6°C	3-5°C	2,5-3°C	2,5-3°C	2,5-3°C	2,5-3°C	0,5-2°C	0,5-2°C	0,5°C
<i>Eficacia heladas radiación con inversión térmica</i>	***	**	**	**	**	**	**	**	**
<i>Eficacia heladas advección sin inversión térmica</i>	**	**	*	*	*	*	0	0	*
<i>Inversión inicial total (€/ha)</i>	6000-8300	3400-8200		7.600	25.300	8.300	61.000	42.000	27.800
<i>Vida útil (años)</i>	15	15		10	20	20	15	15	15
<i>Superficie cubierta (ha)</i>	1	1	1	1	1	1	4	2,5	7
<i>Unidades por ha</i>			400	135	120	60			
<i>Coste anual inversión (€/ha)</i>	400 - 550	225 - 550		760	1265	415	1017	1120	265
<i>Coste anual mantenimiento/almacén (€/ha)</i>	300-420	175-400	80	0	120	60	550	380	250
<i>Coste preparación sistema (por cada helada de 10 h) (€/ha)</i>	0	0	140	150	260	65	0	33	30
<i>Coste control y manejo (por 10 h de funcionamiento) (€/ha)</i>	175	175	230	390	390	200	50	75	27
<i>Coste combustible, electricidad o agua (por 10 h de funcionamiento) (€/ha)</i>	20-85	10-45	4500	1170	1575	3600	98	30	110
<i>Coste total protección (inversión + mantenimiento + preparación + funcionamiento 10 h) (€/h)</i>	880 - 1200	580-1165	4950	2470	3610	4340	1714	1638	682

E.2.5. Consideraciones sobre los sistemas de defensa contra heladas

Una buena protección contra las heladas empieza desde el mismo momento en que se plantea el proyecto de una plantación. El estudio de las probabilidades de helada y riesgo de daños en la zona junto con un estudio microclimático de la parcela es imprescindible para asegurar una correcta ubicación de las plantaciones y evitar sobresaltos económicos una vez que la inversión de la plantación (en ocasiones muy elevada) ya está realizada.

Las condiciones en que se producen las heladas son muy variables entre los diversos episodios y también a lo largo de la noche donde se produce la helada. El desarrollo de sistemas de predicción y de soporte a la toma de decisiones a una escala más local tendrá cada vez más importancia.

En cuanto a los sistemas de protección activa, no hay ninguno que se pueda adaptar universalmente y todos tienen aspectos positivos, negativos y limitaciones que hacen que sean más o menos aplicables en los diversos contextos productivos.

Todos los sistemas pueden tener su utilidad en determinadas circunstancias, aunque si se dispone de agua suficiente y presión para aplicarla, el sistema de defensa por aspersión es el que da más posibilidades de cobertura en las diversas condiciones de helada. Los sistemas de **riego por aspersión o microaspersión continua o intermitente son los más ventajosos porque permiten un incremento de temperaturas considerable en todo tipo de heladas y su coste es el más bajo** en relación con la protección que pueden ofrecer (entre unos 600 y 1.200 €/ha para 10 horas de helada). Su limitante más importante es la elevada cantidad de agua (y la seguridad de su disponibilidad) que se necesita para asegurar que el sistema pueda funcionar sin interrupción las horas necesarias. En este sentido el sistema por microaspersión sería el más prometedor por su menor inversión y necesidad de agua y energía para el bombeo, pero habría que estudiar con más profundidad las condiciones del diseño hidráulico para optimizarlo al máximo.

Los sistemas de ventiladores fijos o portátiles **solo funcionan en situaciones de inversión térmica**, sin viento y su eficacia depende en gran medida en la diferencia de temperatura entre las capas de aire y de la distancia al ventilador. Su coste de funcionamiento es más elevado que los sistemas con agua. (alrededor de 1700-1800 €/ha y año para 10 horas de helada) y el nivel de protección que ofrecen es limitado y, en muchas ocasiones, incierto.

En los sistemas basados en **estufas o calefactores la eficacia depende principalmente de la cantidad de puntos de emisión que se instalen y de la potencia calorífica de cada uno**. Para conseguir incrementos de temperatura apreciables (2,5-3°C) es necesario un número elevado de unidades (60 a 400 por ha según el modelo) y su coste de funcionamiento es bastante elevado (entre 2500 y 5000 €/ha). Son sistemas complicados en el manejo, el encendido y el mantenimiento y los combustibles derivados del petróleo son poco sostenibles y generan una elevada cantidad de humo. Serían sistemas adecuados para parcelas pequeñas, con cultivos de alto valor y heladas poco frecuentes cuando no es posible aplicar otros métodos.

Con el desarrollo y la expansión de las redes **antigranizo y las cubiertas antilluvia** habrá que estudiar también su comportamiento como sistemas de protección contra las heladas, bien de forma individual o en combinación con otros sistemas como estufas estáticas o móviles o sistemas de aspersión bajo árboles.

Por lo tanto, y a pesar de la experiencia acumulada a lo largo de muchos años en los diversos sistemas, hay que seguir estudiándolos y experimentando en su utilización para minimizar las consecuencias de las heladas primaverales en la producción agrícola, especialmente cuando nos encontramos en un contexto de cambio climático que, probablemente, provocará el incremento de este fenómeno.

Referencias

- Hu Y G, Wu W Y, De Melo-Abreu J P, Shapland T M, Zhang H, Snyder R L. (2015). Experimentos comparativos y evaluación de la eficacia de los ventiladores de soplado vertical (VBF) para la protección contra heladas. *Int J Agric & Biol Eng*, 2015; 8(5): 36-42.
- Hu Y G, Asante E A, Lu Y Z, Mahmood A, Buttar A N, Yuan S Q. (2018). Revisión de la tecnología de perturbación del aire para la protección contra las heladas de las plantas. *Int J Agric & Biol Eng*, 2018; 11(3): 21–28.
- Lakatos, L; Brotodjojo, R.R. (2022). IOP Conf. Ser.: Medio Ambiente de la Tierra. Ciencia 1018
- Reese R. L; Gerber, J. F., (1969). Una descripción empírica de la protección contra el frío proporcionada por una máquina eólica. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 94(6);697-700.
- Snyder, R. L.; De Melo-Abreu, J. P. (2005). Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Vol. I. Naciones Unidas, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, 223 págs.

E.3. Defensa química contra heladas

E.3.1. Introducción

Los daños por heladas se producen por la formación de hielo en el interior de los tejidos de las plantas. El daño puede ser directo cuando los cristales de hielo se forman en el interior de las células o indirecto cuando el hielo se forma en el espacio intercelular provocando la deshidratación y el deterioro de las membranas de las células adyacentes (Snyder y De Melo-Abreu, 2010).

Cuando se dan las condiciones de congelación, se empiezan a formar cristales de hielo en los espacios extracelulares. El punto de inicio de la formación de hielo se produce en los agentes nucleantes de hielo (INA) que son partículas presentes en el interior y exterior de los tejidos a partir de las cuales se desencadena la formación de los cristales. Estas partículas pueden ser cristales de nieve, polvo, partículas inorgánicas y, especialmente, bacterias nucleadoras. En ausencia de estos agentes el agua en los tejidos, incluyendo yemas y flores puede permanecer en estado líquido con temperaturas inferiores a 0º, en estado de sobreenfriamiento (en realidad el punto de congelación del agua pura se encuentra aproximadamente en -40°C).

A partir del inicio de la formación de hielo se van agregando moléculas de agua a la estructura de los cristales y los solutos quedan libres, aumentando la concentración de la solución restante (Gupta & Deswall, 2010). Esto crea una disminución del potencial osmótico y una salida de agua del interior de la célula al exterior para compensar el gradiente osmótico con el citoplasma provocando la alteración de la membrana celular y la deshidratación de la célula con la consiguiente pérdida de volumen que puede resultar en su colapso o ruptura (Pearce, 2001). En función de las condiciones, también se puede formar hielo dentro de la célula, y el crecimiento de los cristales provoca un estrés físico que acaba dañando de forma irreversible las membranas de la célula y provocando la muerte celular.

Las plantas y sus tejidos han desarrollado dos estrategias para afrontar el estrés por congelación que son la tolerancia y la evitación. La primera estrategia permite que, aunque se produzca hielo en los espacios extracelulares, las plantas y/o sus tejidos toleren su presencia sin sufrir el consiguiente estrés por deshidratación. La segunda estrategia consiste en la capacidad de las plantas para evitar la formación de cristales de hielo intersticiales. Aunque estas dos estrategias son claramente diferentes, se pueden encontrar simultáneamente en una misma planta (Levitt 1980). Los tejidos que evitan las heladas lo hacen aislándose de las bajas temperaturas o limitando la formación de cristales de hielo en sus tejidos manteniendo el agua líquida en estado de sobre enfriamiento por debajo de 0°C. Estos tejidos pueden disminuir la temperatura de nucleación del hielo al sintetizar osmolitos en sus fluidos, aunque debido a la gran cantidad de soluto requerida para reducir significativamente el punto de congelación, la bajada real del punto de congelación que se puede lograr es de sólo 1-2°C (Levitt 1980).

Un aspecto básico en la tolerancia de las plantas de las zonas templadas al frío es el proceso de aclimatación que permite que las plantas aumenten su tolerancia cuando son expuestas a temperaturas frías, pero no de congelación. En este proceso se producen diferentes respuestas que incluyen alteraciones en la membrana plasmática i acumulación de solutos en el interior de las células (Uemara et al, 2006).

Adicionalmente se conoce que el contenido del citoplasma y los orgánulos celulares tienen una incidencia en el comportamiento de las membranas plasmáticas durante la aclimatación y la helada. En general, un incremento en la concentración de solutos resulta en menores daños por deshidratación de las células (Lewitt 1980). Los solutos, de bajo peso molecular, aparte del efecto

en la disminución del potencial osmótico de la célula, pueden mostrar efectos crioprotectores específicos (como en el caso de proteínas y azúcares) que protegen las membranas y actuar como antioxidantes (prolina) o como agentes que ayudan en el proceso de recuperación posterior a la helada (glicina-betaina) (Uemura et al, 2006).

Las heladas (al igual que otras incidencias ambientales) provoca un estrés que se manifiesta en una alteración del sistema de equilibrio oxidación-reducción de los tejidos. Las plantas tienen un sistema antioxidante como parte de su metabolismo en el que, en condiciones no estresantes, se produce un equilibrio entre la generación de especies reactivas de oxígeno, (ROS), (anión superóxido, peróxido de hidrógeno y radical hidroxilo entre otros) y su eliminación. Las ROS actúan como mensajeros secundarios en la transducción de señales en concentraciones bajas, mientras que en concentraciones más altas causan daño oxidativo que finalmente conduce a la muerte celular. El estrés producido por las heladas conduce a una mayor acumulación de ROS en los tejidos afectados, que las plantas intentan contrarrestar con diversos antioxidantes cuya producción también es inducida por el frío. Algunos de esos antioxidantes son, el ácido ascórbico (Vitamina C), el alfa-tocoferol (vitamina E), la glutatión, la superóxido dismutasa, la cisteína sintetasa y otros carotenoides y compuestos fenólicos. La presencia de unos y otros depende de la especie y su mayor o menor concentración se han relacionado con la resistencia al frío (Ambroise et al, 2020).

E.3.2. Uso de productos químicos en la protección contra heladas

El estudio de diversos productos químicos que puedan almacenarse y aplicarse fácilmente y que proporcionen protección frente a las heladas se remonta a la mitad de los años 50 del siglo pasado (Perry 1998). A estos productos se les atribuía la capacidad de cambiar el punto de helada de los tejidos, reducir la presencia de bacterias criogénicas en los cultivos o afectar la fenología retrasando la salida de la fase de resistencia de los cultivos y, en ocasiones, no se conocía su modo de acción.

Actualmente, en la protección química contra las heladas se incluye el uso de productos fertilizantes convencionales (como el nitrógeno, el potasio, el boro), productos hormonales (reguladores de crecimiento), aminoácidos y proteínas, carbohidratos y productos antitranspirantes y bioestimulantes. Comercialmente, se les atribuyen capacidades de regulación osmótica, crioprotectora y/o antioxidante que no siempre están refrendadas por estudios científicos. En este capítulo revisaremos el estado del arte del efecto de los diferentes productos y su aplicación práctica en el control de heladas.

E.3.2.1. Elementos minerales

Una correcta nutrición mineral que incluya las dosis y momentos de aplicación adecuados es esencial para el desarrollo de las plantas y la tolerancia a los efectos de las heladas. Los desequilibrios nutricionales pueden afectar negativamente al cultivo y a su protección contra las heladas.

La capacidad de algunos nutrientes minerales para proteger los cultivos contra el estrés por frío y reducir los daños de las heladas ha sido evaluada por distintos autores. Sin embargo, a partir de los resultados de la literatura científica, observamos que la eficacia de los nutrientes minerales es variable y dependen del tipo de nutriente y cultivo.

El **potasio** es uno de los iones con mayor presencia en los tejidos de las plantas. Se encuentra disuelto en el interior de la célula y en los espacios intracelulares manteniendo el ajuste osmótico y ayudando a disminuir el punto de congelación al aumentar la cantidad de soluto. En viña, se demostró que las aportaciones de potasio en forma de sulfato potásico aumentaron

significativamente la tolerancia al frío, incrementando la cantidad de carbohidratos, prolina y proteínas presente en los sarmientos (Sarikhani et al., 2014). Estos resultados fueron confirmados por Karimi (2017) observando que la aplicación sulfato potásico al 3% reducía los efectos del estrés por helada en viña, aumentando el contenido de poliaminas libres, azúcares solubles, fenoles y ácido abscísico en las plantas tratadas. La aplicación de sulfato de potasio proporcionó también un considerable aumento de la resistencia al frío en tomates (Donderalp, 2022). En olivo se observó que aplicaciones de potasio al 2% incrementaban la presencia de compuestos osmolíticos y la actividad enzimática antioxidante que estaba correlacionada con un aumento en la resistencia al frío de las plantas tratadas (Saadi et al 2021).

El **calcio** también desempeña un papel importante a la hora de proporcionar a las plantas una tolerancia a las bajas temperaturas, aunque su mecanismo de acción todavía no está del todo claro (Roman- Figueroa et al., 2020). El calcio es un elemento clave en la composición de las membranas celulares, mejorando su fluidez y estabilidad. Según algunos estudios, un aumento de las aplicaciones foliares de calcio puede inducir el cierre estomático y evita la deshidratación de las hojas (Waraich et al., 2012; Wilkinson et al., 2001), además de reforzar las membranas celulares ya que el calcio se une con lípidos y proteínas a las membranas evitando la salida de solutos. En ensayos realizados en uva de mesa en Irán, se observó que aplicaciones de sulfato de calcio y sulfato de zinc previamente al desborre, incrementaban su tolerancia al frío (Karimi, 2019).

El **boro** ha demostrado ser eficaz para mejorar la tolerancia a las heladas de las plantas estabilizando la pared celular y su función, además de su papel en la regulación de la permeabilidad de las membranas celulares (Brown et al., 2002). Las aplicaciones de boro han mostrado tener un efecto sobre la fecha de floración en almendro. Un estudio realizado por IRTA (Rufat & Arbones, 2006) en almendro en condiciones de secano, mostró que aplicaciones foliares de boro en otoño, además de incrementar el cuajado, podían inducir un retraso en la fecha de floración de 4-6 días, lo que redundaba en un menor riesgo de afectación por heladas tardías.

E.3.2.2. Reguladores del crecimiento

Los reguladores del crecimiento son compuestos asociados a distintos procesos del crecimiento de las plantas. El retraso de la floración es el principal mecanismo de este tipo de productos en la protección contra las heladas.

Los retardantes del crecimiento de los brotes, como el paclobutrazol y el ácido abscísico (ABA), han demostrado ser efectivos para evitar daños por bajas temperaturas en los brotes. Estos compuestos actúan disminuyendo el crecimiento de las plantas y favoreciendo la latencia de los brotes.

El **paclobutrazol** puede comportarse como un antitranspirante, disminuyendo la longitud de las estomas y aumentando la densidad estomática. Igualmente, el paclobutrazol es un inhibidor de la biosíntesis del ácido giberélico, que al estimular su crecimiento puede aumentar la susceptibilidad de las plantas al frío.

En Nueva Zelanda se observó que la aplicación de **ABA** en limonero aumentaba su resistencia a las heladas (Dwyer et al., 1995). En diversos ensayos en viña en Estados Unidos, el ABA no tuvo un efecto relevante en el retraso de la brotación (Wang & Dami, 2020) pero sí provocó un aumento en la tolerancia a las heladas de este cultivo (Wang et al. 2000 b).

La aplicación de **aceites minerales** en invierno en la época previa a la floración era una práctica tradicional en el control de insectos y hongos en frutales y viñedos. Estos productos no podían usarse (o hacerlo a dosis muy baja) en la fase vegetativa de las plantas por su fitotoxicidad sobre

las partes verdes. Con dosis elevadas de estos productos se podía observar un retraso en el momento de brotación de los árboles. En la actualidad los aceites minerales están prácticamente eliminados de los registros de fitosanitarios y son sustituidos por **aceites vegetales** de diversos orígenes como soja, crucíferas (colza, girasol...), maíz o semillas de algodón. En el caso del viñedo se han realizado numerosos ensayos utilizando aceites con el objetivo de retardar la brotación y evitar los periodos de mayor riesgo de heladas. En ensayos realizados en Estados Unidos durante varios años, la aplicación de aceite mineral o vegetal (de soja) retrasaba la brotación entre 2 y 20 días dependiendo de la variedad, el momento de aplicación y la cobertura del producto (Dami and Beam., 2004). Todos los aceites pueden ser fitotóxicos a partir de cierta concentración (5% para aceites minerales y 10 % para el de soja). Cuanto más próximo a la brotación se realizaba el tratamiento, menores eran los efectos obtenidos y no se observaba un retraso en la fecha de maduración a no ser que el retraso en la brotación fuera superior a dos semanas. Los ensayos en este ámbito han continuado en la región y se considera uno de los métodos interesantes para el retraso en la brotación de la vid, aunque a veces se observen resultados inconsistentes (Loseke et al, 2015), (Wang & Dami, 2020), (Persico et al, 2021).

El **etefon** es un regulador del crecimiento que al metabolizarse libera etileno. Muchos estudios han mostrado que su aplicación en otoño puede retrasar de forma efectiva el inicio de floración en la primavera siguiente en diferentes especies, especialmente en fruta de hueso. El retraso puede oscilar entre 3 y 18 días, dependiendo del cultivo, concentraciones y momento de aplicación. Por lo general, aplicaciones tempranas en otoño a altas concentraciones son más efectivas. Por ejemplo, la aplicación de etefon en ciruelos con un 10% de caída de hojas a 250 y 500 ppm retrasó la floración 13 y 16 días, respectivamente, y 5 y 7 días cuando se aplicó en una fase más avanzada de caída de hojas del 50% (Crisosto et al., 1990). En un ensayo realizado por IRTA en almendro de la variedad 'Vayro' se obtuvieron retrasos de la floración de 4 a 7 días con una respuesta positiva al incremento de la dosis de 50 a 200 ppm. Sin embargo, un mayor retraso supuso también una pérdida del rendimiento productivo. En todos los casos, la eficacia del etefon parece estar limitada a la etapa pre-dormante y no se observa prácticamente ningún efecto cuando se aplica en estado de latencia. Igualmente, es importante remarcar la posible aparición de efectos nocivos de su aplicación como gomosis, caída de yemas y flores, necrosis del extremo de los brotes, falta de apertura de botones florales y reducción del rendimiento productivo.

E.3.2.3. Aminoácidos y proteínas

Algunos aminoácidos libres están asociados con la exposición al frío y la resistencia a las heladas. Actúan como solutos compatibles y estabilizan membranas y proteínas de forma similar a los azúcares. Uno de los aminoácidos que se ha encontrado que se acumula con frecuencia es la **prolina** (Öktem et al. 2008,). Además de sus propiedades de soluto compatible, la prolina estabiliza los polirribosomas y actúa como eliminador de ROS y tampón de pH y redox (Hayat et al. 2012).

La **glicina betaína** se considera una interesante herramienta agronómica destinada a aumentar la tolerancia a estreses ambientales como las bajas temperaturas. En este sentido, se puede citar el trabajo Ellena et. al., 2024, que en heladas tardías de primavera y principios de verano (-2,34°C durante 3,5 horas) en castaños jóvenes, los árboles tratados con glicina betaína mostraron una mejor recuperación en comparación con el control no tratado.

Algunos organismos de vida fría (plantas, insectos y peces árticos) segregan **proteínas anticongelantes (AFP)** que proporcionan tolerancia a la congelación (Wisniewski y Fuller 1999); (Griffith y Yaish 2004), (Gupta y Deswall, 2010). Estas proteínas actúan inhibiendo el crecimiento de los cristales de hielo en espacio extracelular de las células (Griffith y Yaish 2004) e inhiben la recristalización del hielo que se produce durante ciclos repetidos de congelación-descongelación

cuando las plantas están expuestas a bajas temperaturas durante un período prolongado de tiempo (Wisniewski y Fuller 1999, Griffith y Yaish 2004).

E.3.2.4. Carbohidratos

Los **oligosacáridos** (sacarosa, maltosa, trehalosa, etc) y los polioles (sorbitol, manitol, eritriol, etc)» están asociados con la aclimatación al frío y la resistencia a las heladas y tienen diversos efectos protectores. Algunos también protegen las células del daño oxidativo mediante la eliminación activa de ROS (Keunen et al. 2013). Entre ellos, la rafinosa, el galactinol, el sorbitol, el manitol y el mioinositol parecen ser los eliminadores de radicales libres más eficaces (Morsy et al. 2007, Folgado et al. 2015).

Al ser moléculas solubles de bajo peso molecular que se acumulan en altas concentraciones sin efectos citotóxicos, en solución contrarrestan el estrés osmótico causado por las heladas. Bajan el punto de congelación de forma coligativa y parecen ser determinantes en el proceso de vitrificación del agua (Wolfe y Bryant 1999, Strimbeck et al. 2015). En este sentido, la acumulación de carbohidratos simples tiene un papel predominante en la tolerancia a temperaturas extremadamente bajas (por debajo de -40 °C) en plantas leñosas al favorecer la vitrificación del agua en lugar de la cristalización (Mensink et al. 2017). Estabilizan las membranas y las proteínas durante la deshidratación intensa. La trehalosa y la maltosa son particularmente efectivas en esta función, incluso en concentraciones bajas (Wolfe y Bryant 1999).

Los **nanocristales de celulosa (CNC)** se conocen como nanobiomateriales con baja conductividad térmica y propiedades biodegradables. Dado que su porosidad y estabilidad son mayores que las de otros biomateriales naturales, han sido ampliamente utilizados como materiales en otros campos que aprovechan sus propiedades de aislamiento térmico. Se ha observado que los CNC son eficaces contra los daños por heladas en cerezas y uvas (Alhamid et al., 2018) y en melocotonero (Lee et al., 2021). En este último cultivo, un tratamiento con una concentración del 2% de CNC aumentó la resistencia a las heladas de forma variable en función de la temperatura mínima alcanzada y el estadio fenológico del cultivo.

E.3.2.5. Antitranspirantes y bioestimulantes

Dentro de los productos para protección contra heladas existen formulaciones de aplicación foliar antitranspirantes que, según los fabricantes, tienen un efecto protector contra heladas, y productos bioestimulantes creados específicamente como tratamientos preventivos contra las heladas. A nivel internacional se pueden encontrar diferentes formulaciones de este tipo de productos. Sin embargo, la información científica que apoya su eficacia es limitada (Roman-Figueroa et al., 2020).

Los **antitranspirantes** actúan mediante la formación de una membrana semi-permeable a base de polímeros orgánicos que impide la pérdida de agua, frenando la congelación y evitando la deshidratación de las plantas. El polímero **beta-pineno (di-1-p-menteno)**, **obtenido a partir de la resina de pino** es uno de los ingredientes más utilizados en este tipo de formulaciones. Cuando se aplica, forma en la superficie exterior de los tejidos una película lipófila flexible y que resiste la penetración de la humedad en su interior debido a la reducción de la humectabilidad. Probablemente, la protección contra la congelación se base en esta barrera física que evitaría la formación extrínseca de hielo (Roman-Figueroa et al., 2020). En España, existen diversos productos comerciales formulados a base de resinas que se comercializan con la función de proteger o mitigar la transpiración de las plantas en cualquier tipo de estrés abiótico (por heladas, térmico, hídrico, radiación, etc.). Sin embargo, su eficacia y su modo de acción como protectores contra las heladas no está totalmente contrastada.

Los **bioestimulantes** son una categoría comercial de productos que pueden incluir diversos componentes con diferentes modos de acción (en algunos casos no conocida). Algunos de estos componentes son:

- El **polietilen-glicol** ha demostrado una eficacia en la reducción del punto de congelación impidiendo la formación extracelular de hielo y aumentando la resistencia al frío de los órganos tratados.
- Sales minerales a base de boro y/o potasio (cuyo mecanismo de acción ya se ha discutido anteriormente),
- Antioxidantes de origen natural que actúan neutralizando los radicales libres que se forman en las membranas de las células. El **alfa-tocoferol** que es el antioxidante natural que ha demostrado mayor eficacia contra los daños por frío. Los efectos del alfa-tocoferol y el glicerol se han evaluado por separado y en combinación con resultados favorables en manzano y tomate (Wolfel y Noga, 1998). Además, la aplicación del alfa-tocoferol de forma exógena puede colaborar en mantener la estabilidad y la integridad de las membranas celulares bajo estrés abiótico (Sadiq et al., 2019).
- Los **fosfolípidos**, se encuentran en la membrana celular y aumentan su concentración cuando las plantas se exponen a bajas temperaturas. Se ha observado que la aplicación exógena de fosfolípidos insaturados puede replicar los efectos de los fosfolípidos endógenos bajo aclimatación al frío y ayudar a mantener la integridad de las membranas (Krahn, 2020).
- Hidratos de carbono y otros compuestos orgánicos que actúan como crioprotectores y para mantener el equilibrio osmótico (mencionados anteriormente).

Uno de los primeros productos comerciales que combinó diversos componentes (boro, alfa-tocoferol y polietilen-glicol) fue **Basfoliar® Frost Protect o Compo® Frost Protect** de Compo. En IRTA se efectuaron diferentes estudios sobre su eficacia en melocotonero y almendro llegando a la conclusión de que el producto podía reducir la mortalidad de flores de un 50% a un 10% en heladas de hasta -5°C, reduciendo entre 1,5°C y 2°C las temperaturas correspondientes a un 10, 50 y 90 % de mortalidad (Torres et al., 2017).

Otro producto comercialmente disponible en España para el incremento de la resistencia a heladas es **Kryoss** (Fabricado por Sustainable Agro Solutions). Según su fabricante, Kryoss es un bioestimulante con compuestos osmoprotectores, crioprotectores y antioxidantes que confieren tolerancia y previenen el daño por heladas. En algunos estudios realizados por IRTA en pera 'Conference', la aplicación de Kryoss propició un aumento del 20% de flores viables (sin daños por frío) después de una helada, en condiciones controladas, de -3,5 °C. En melocotonero, la aplicación de este producto 48 horas antes de un periodo de 3 días con temperaturas mínimas de hasta -3,7 °C, incrementó en un 14% la flores no afectadas por la helada.

En Portugal, en frutales, el uso de bioestimulantes como el **ácido ortosilícico** ha sido una práctica seguida por algunos productores como forma de aumentar la resistencia de las plantas a las bajas temperaturas durante el periodo crítico de heladas. Sin embargo, no se ha demostrado la eficacia de esta práctica.

E.3.3. Conclusiones

En el mercado internacional podemos encontrar una amplia oferta de productos para mitigar los daños por heladas. El modo de acción de estos productos varía en función del tipo de producto y su formulación. Tradicionalmente se había utilizado el **etefon** para retrasar la fecha de floración y escapar del periodo de riesgo de heladas, sin embargo, el uso de este fitorregulador no está autorizado en algunos países y su aplicación puede suponer un riesgo en la disminución del rendimiento productivo. Igualmente, los aceites minerales y vegetales también se habían utilizado con el mismo propósito, pero las limitaciones normativas actuales restringen su uso.

En la misma línea, actualmente, existe una amplia variedad de productos antitranspirantes y bioestimulantes disponibles contra las heladas, aunque su efecto, en muchos casos, no está respaldado por estudios concluyentes y existe poca información científica sobre su modo de acción. Sería interesante continuar con la experimentación en condiciones controladas de estos productos que pudieran aportar cierta protección (aunque fuera parcial) dentro de una estrategia combinada de lucha contra las heladas.

Referencias

- Alhamid, J.O.; Mo, C.; Zhang, X.; Wang, P.; Whiting, M.D.; Zhang, Q. (2018). Cellulose nanocrystals reduce cold damage to reproductive buds in fruit crops. *Biosyst. Eng.*, 172, 124–133.
- Ambroise V, Legay S, Guerriero G, Hausman JF, Cuypers A, Sergeant K. (2020). The Roots of Plant Frost Hardiness and Tolerance. *Plant Cell Physiol.* Jan 1;61(1):3-20. doi: 10.1093/pcp/pcz196
- Bartosz, G. (1997). Oxidative stress in plants. *Acta physiologiae plantarum*, 19(1), 47-64. <https://doi.org/10.1007/s11738-997-0022-9>
- Bredow, M., Tomalty, H. E., Smith, L., & Walker, V. K. (2017). Ice and anti-nucleating activities of an ice-binding protein from the annual grass, *Brachypodium distachyon*. *Plant, Cell and Environment*, 41, 983–992. <https://doi.org/10.1111/pce.12889>
- Brown, P. H., Bellaloui, N., Wimmer, M. A., Bassil, E. S., Ruiz, J., Hu, H., ... Pfeiffer H., Dannel, F., & Römheld, V. (2002). Boron in plant biology. *Plant biology*, 4(02), 205-223. <https://doi.org/10.1055/s-2002-25740>
- Crisosto, C. H., Miller, A. N., Lombard, P. B., & Robbins, S. (1990). Effect of fall ethephon applications on bloom delay, flowering, and fruiting of peach and prune. *HortScience*, 25(4), 426-428. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.25.4.426>
- Dami, I. E., Beam, B. A. (2004). *Am. J. Enol. Vitic.* 55:269-275; DOI: 10.5344/ajev.2004.55.3.26
- Donderalp, V. Dursun, A. (2022). Improvement of frost tolerance in tomato by foliar application of potassium sulphate, *Scientia Horticulturae*, Volume 295, 10868, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110868>
- Dwyer, P. J., Bannister, P., & Jameson, P. E. (1995). Effects of three plant growth regulators on growth, morphology, water relations, and frost resistance in lemonwood (*Pittosporum eugenoides* A.Cunn). *New Zealand Journal of Botany*, 33(3), 415–424. <https://doi.org/10.1080/0028825X.1995.10412968>
- Ellena, F.; Gonzalez, A.; Romero, I; Matamala, L.; Gavilán-CuiCui, G.; Ruiz, A.; Meriño-Gergichevich, C. (2024). Preventive-Glycine Betaine Treatment Mitigate Spring and Summer Chilling Damage on Young Chestnut Trees under Climate Variability in Southern Chile. 10.20944/preprints202405.0484.v1.
- Griffith M., Yaish M.W.F. (2004) Antifreeze proteins in overwintering plants: a tale of two activities. *Trends Plant Sci.* 9: 399–405.
- Gupta, R. and Deswal, R. (2014) Antifreeze proteins enable plants to survive in freezing conditions. *J. Biosci.* 39 931–944] DOI 10.1007/ s12038-014-9468-2
- Hayat S., Hayat Q., Alyemeni M.N., Wani A.S., Pichtel J., Ahmad A. (2012) Role of proline under changing environments: a review. *Plant Signal Behav.* 7: 1456–1466
- Karimi, R. (2017). Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. *Scientia Horticulturae*, Volume 215. Pages 184-194, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.12.018>
- Karimi, R. (2019). Spring frost tolerance increase in Sultana grapevine by early season application of calcium sulfate and zinc sulfate. *Journal of Plant Nutrition*, 42(19), 2666–2681. <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1659343>

An-Gel Sudoe

- Krahn, M. P. (2020). Phospholipids of the Plasma Membrane—Regulators or Consequence of Cell Polarity? *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 8, 277. <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.00277>
- Lee S, Jeong JH, Kim SH, Shin H.(2021). Freezing Tolerance Enhancement and Thermographic Observation of Whole Peach Trees Applied with Cellulose Nanocrystals under Realistic Spring Frost Conditions Using a Soil–Fruit–Daylit–System. *Plants*; 10(11):2301. <https://doi.org/10.3390/plants10112301>
- Levitt, J. (1980) Responses of plants to environmental stress, 2nd Edition, Volume 1: Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses. 497 pp. Academic Press, New York
- Loseke, B. A; Read, P. E. ; Blankenship, E. E.(2015). Preventing spring freeze injury on grapevines using multiple applications of Amigo Oil and naphthaleneacetic acid. *Scientia Horticulturae*, Volume 193, 294-300. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.025>
- Öktem H.A., Eyidodan F., Demirba D., Bayraç A.T., Öz M.T., Özgür E., et al. (2008) Antioxidant responses of lentil to cold and drought stress. *J. Plant Biochem. Biotechnol.* 17: 15–21.
- Ouellet, F., & Charron, J.-B. (2013). Cold acclimation and freezing tolerance in plants. In eLS, John Wiley & Sons, Ltd. (Ed.). eLS, 7, 93. <https://doi.org/10.1002/9780470015902.a0020093.pub2>
- Pearce, R. (2001). Plant freezing and damage. *Ann. Bot.* 87 (4), 417–424. doi: 10.1006/anbo.2000.1352
- Persico, M. J.; Smith, D. E. Centinari M. (2021). Delaying Budbreak to Reduce Freeze Damage: Seasonal Vine Performance and Wine Composition in Two *Vitis vinifera* Cultivars. *Am J Enol Vitic.* 2021 72:346-357 ; DOI: 10.5344/ajev.2021.20076
- Perry, K. B. (1998). Basics of Frost and Freeze Protection for Horticultural Crops. *HortTechnology horttech*, 8(1), 10-15. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.8.1.10>
- Rasmussen D.H., MacKenzie A.P. (1972) Effect of solute on ice-solution interfacial free energy; calculation from measured homogeneous nucleation temperatures In *Water Structure at the Water-Polymer Interface*. Edited by Jellinek H.H.G. pp. 126–145. Plenum Press, New York/London.
- Rieger, M. (1989). Freeze protection for horticultural crops. *Horticultural Reviews*, 11, 45–109. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.8.1.10>
- Román-Figueroa, C., Bravo, L., Paneque, M., Navia, R., & Cea, M. (2021). Chemical products for crop protection against freezing stress: A review. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 207(3), 391-403. <https://doi.org/10.1111/jac.12489>
- Rufat, J. and Arbones, A. (2006). Foliar applications of boron to almond trees in dry land areas. *Acta Horti.* 721: 219-225. DOI: 10.17660/ActaHortic.2006.721.29
- Saha J., Brauer E.K., Sengupta A., Popescu S.C., Gupta K., Gupta B. (2015) Polyamines as redox homeostasis regulators during salt stress in plants. *Front. Environ. Sci.* 3: 21
- Sadiq, M., Akram, N. A., Ashraf, M., Al-Qurainy, F., & Ahmad, P. (2019). Alpha-tocopherol-induced regulation of growth and metabolism in plants under non-stress and stress conditions. *Journal of Plant Growth Regulation*, 38(4),1325-1340. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09936-7>
- S. Saadati, B. Baninasab, M. Mobli, M. Gholami. (2021). Foliar application of potassium to improve the freezing tolerance of olive leaves by increasing some osmolite compounds and antioxidant activity. *Sci Hortic*, 276 (2021), Article 109765
- Snyder R.L., De Snid J.P. (2010). Protección contra las heladas: fundamentos, práctica y economía. Volumen 1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Roma.
- Sarikhani, H., Haghi, H., Ershadi, A., Esna-Ashari, M., & Pouya, M. (2014). Foliar application of potassium sulphate enhances the cold-hardiness of grapevine (*Vitis vinifera* L.). *The Journal of*

Horticultural Science and Biotechnology, 89(2), 141–146.

<https://doi.org/10.1080/14620316.2014.11513060>

- Strimbeck R.G., Schaberg P.G., Fosdald C.G., Schröder W.P., Kjellsen T.D. (2015) Extreme low temperature tolerance in woody plants. *Front. Plant Sci.* 6: 1–15.
- Torres, E. (2020). Aplicaciones de calcio para la mitigación del bitter pit en manzana: Análisis de la eficacia de la aplicación por fertiirrigación, aplicaciones foliares y baños postcosecha. *Vida Rural*, (487), 45-52.
- Torres, E., Alonso, D., & Miarnau, X. (2017). Basfoliar® Frost Protect, una nueva herramienta para reducir los daños por heladas en frutales. *Revista De Fruticultura*, 53, 44-53. <https://quatrecbn.es/>
- Uemura, M.; Tominaga, Y.; Nakagawara, C.; Shigematsu, S.; Minami, A.; Kawamura, Y. (2006) Responses of the plasma membrane to low temperatures. *Physiol. Plant.*, 126, 81–89.
- Veysel, D., Atilla D. (2022). Improvement of frost tolerance in tomato by foliar application of potassium sulphate, *Scientia Horticulturae*, Volume 295, 110868, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110868>
- Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of Potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Science*, 14, 7370-7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>
- Wang, H., & Dami, I. E. (2020). Evaluation of budbreak-delaying products to avoid spring frost injury in grapevines. *American Journal of Enology and Viticulture*, 71(3), 181-190. DOI:10.5344/ajev.2020.1907
- Wang, H.; Blakeslee, J.; Jones, M.; Chapin, L.; Dami, I. (2020). Exogenous abscisic acid enhances physiological, metabolic, and transcriptional cold acclimation responses in greenhouse-grown grapevines. *Plant Science*. 293. 10.1016/j.plantsci.2020.110437.
- Waraich, E.A, Ahmad, R, Halim, A, & Aziz, T. (2012). Alleviation of temperature stress by nutrient management in crop plants: a review. *Journal of soil science and plant nutrition*, 12(2), 221-244. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012000200003>
- Wilkinson S, Clephan AL, Davies WJ. Rapid low temperature-induced stomatal closure occurs in cold-tolerant *Commelina communis* leaves but not in cold-sensitive tobacco leaves, via a mechanism that involves apoplastic calcium but not abscisic acid. *Plant Physiol.* 2001;126(4):1566-1578. doi:10.1104/pp.126.4.1566
- Wisniewski M., Fuller M. (1999) Ice nucleation and deep supercooling in plants: new insights using infrared thermography In *Cold-Adapted Organisms: Ecology, Physiology, Enzymology and Molecular Biology*. Edited by Margesin R., Schinner F. pp. 105–118. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Wisniewski M., Fuller M. I. C. K., Palta J., Carter J., Arora R. (2004). Ice nucleation, propagation, and deep supercooling in woody plants. *J. Crop Improvement* 10 (1–2), 5–16. doi: 10.1300/J411v10n01_02
- Wölfel, D., & Noga, G. (1998). The effect of α -tocopherol and glycerol on preventing blossom freezing injury. *Acta Horticulturae* 466, 95-102.
- <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1998.466.16>
- Zachariassen K.E., Kristiansen E. (2000) Ice nucleation and antinucleation in nature. *Cryobiology* 41: 257–279.

F. Aspectos sociales del control de heladas

Las heladas, las medidas adaptadas para luchar contra ellas y sus efectos sobre la producción y calidad de los cultivos afectados tienen una incidencia social relevante tanto en los productores afectados como en la sociedad que convive con ellas, pero sin tener una relación directa con la producción agrícola.

La **visión de los productores** sobre la gestión de los riesgos de heladas y el uso que hacen de los medios de defensa tienen una importancia la producción agraria y en el aseguramiento de la producción de determinados cultivos a lo largo del tiempo y en su desarrollo y sostenibilidad a largo plazo.

Por otro lado, teniendo en cuenta que la población activa dedicada a la producción agrícola es cada vez menos numerosa (en Catalunya apenas supera el 1% de la población activa total) y representa un porcentaje cada vez menor de la economía), **la respuesta social de las personas no relacionadas con la agricultura** en los aspectos relacionados con la ocurrencia de las heladas y los mecanismos de defensa contra ellas puede condicionar cada vez más su aplicación.

La presencia de humos o partículas generados por la combustión de materiales para aportar calor, el ruido generado por las torres de ventilación o la competencia por la utilización de agua para proteger los cultivos frente a otros usos puede condicionar la posibilidad de usar sistemas de protección y en algunos casos comprometer la viabilidad de algunos cultivos o variedades en algunas zonas.

En este sentido, en las diferentes zonas donde se desarrolla el proyecto se ha realizado una valoración de los condicionantes y reacciones sociales que aparecen en torno a las heladas y a su control.

F.1. España

Las heladas y las medidas adaptadas para luchar contra ellas tienen una aplicación en el ámbito agrario y en la producción agrícola de determinadas zonas. Sin embargo, este ámbito agrario está imbricado en contextos mucho más urbanos donde la relación con la producción agrícola y sus mecanismos es totalmente desconocida.

Esta situación condiciona los aspectos sociales de la lucha contra las heladas conlleva algunas situaciones concretas:

- La ciudadanía no vinculada con la agricultura desconoce la problemática de las heladas más allá de las noticias aparecidas en los medios de comunicación.
- Igualmente se desconoce la necesidad de utilizar medios de defensa para mitigar los efectos dramáticos que pueden tener sobre los cultivos.
- En la utilización de los medios de defensa contra heladas aparecen conflictos únicamente cuando ocasionan molestias a la ciudadanía como son la presencia de humos o el ruido provocado por los ventiladores.
- En España, el regadío es una técnica tradicional en muchas zonas con climas áridos y, en general, su uso es asumido como necesario para conseguir buenas producciones. En los últimos años y como consecuencia de los episodios de sequía y escasez de agua, desde ámbitos urbanos, se comienza a cuestionar el elevado porcentaje de uso de agua por parte de la agricultura (hasta el 80%) frente al resto de actividades. Sin embargo, hasta el momento, no hay una contestación social al uso de agua en la lucha contra heladas porque en los momentos en que se usa (primavera) suele haber reservas suficientes para

que no entre en competición con otros usos. Además, su uso no genera ningún tipo de impacto molesto sobre las zonas colindantes.

F.1.1. País Vasco

En el País Vasco, los cultivos sensibles a los efectos de las heladas (viña para vinificación) se concentran en zonas muy muy específicas, concretamente en la Rioja Alavesa, donde se produce uva de vinificación para la conocida Denominación de origen Rioja.

A pesar del valor apreciable de la producción, **por el momento la inmensa mayoría de los productores no aplican sistemas de lucha activa contra las heladas en la viña.**

Esta zona tiene un carácter eminentemente rural y la producción vitícola es la base de la economía local. En este contexto, la defensa frente a las heladas es conocida, aceptada y genera muy poca reacción social entre las personas no relacionadas directamente con la producción agrícola.

F.1.2. Región de Murcia

La producción de frutas y hortalizas tempranas en la Región de Murcia es una de las principales actividades agrarias y ha convertido a la Región en un referente de la exportación de estos productos. **El alto valor de estos productos hace que la defensa contra las heladas sea una actividad relevante en el mantenimiento de la producción a lo largo de los años.**

Uno de los sistemas tradicionalmente empleados en el control de heladas en la Vega de Murcia ha sido la quema de diversos productos para aumentar las temperaturas de las plantaciones en riesgo. La quema de sustancias para luchar contra las heladas en la Vega de Murcia influye significativamente en la calidad del aire de poblaciones cercanas a las grandes zonas frutícolas como Cieza, Abarán o Molina de Segura. Esta situación afecta tanto la salud pública como el medio ambiente en las poblaciones más cercanas a las zonas productoras y en ocasiones genera controversias de carácter social¹⁹. La implementación de prácticas agrícolas más adecuadas y la adopción de tecnologías limpias son esenciales para mitigar los efectos negativos en las poblaciones circundantes.

La quema de sustancias para la lucha contra heladas puede comportar consecuencias para la salud humana de la población circundante por.

- Problemas Respiratorios: El material particulado y los gases tóxicos pueden agravar enfermedades como el asma, la bronquitis crónica y otros trastornos respiratorios.
- Enfermedades Cardiovasculares: La exposición prolongada a estos contaminantes se ha asociado con un aumento en el riesgo de infartos y otras enfermedades del corazón.
- Irritación de Ojos y Garganta: Gases como el SO₂ y el NO₂ pueden causar irritación en las mucosas.

¹⁹ Diario La Verdad 17 de junio 2016: <https://www.laverdad.es/nuestra-tierra/medio-ambiente/201404/01/nubes-de-humo-contra-las-heladas-y-la-salud.html>

En la Región de Murcia, el control de las emisiones contaminantes y la protección de la calidad del aire están regulados por diversas normativas y legislaciones a nivel europeo, nacional y autonómico. Las principales normativas aplicables son las siguientes:

- **Directiva 2008/50/CE sobre la calidad del aire ambiente y una atmósfera más limpia en Europa:**
- **Directiva 2016/2284/UE** sobre la reducción de las emisiones nacionales de determinados contaminantes atmosféricos (NEC):
- **Ley 34/2007**, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera:
- **Real Decreto 102/2011**, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire:
- **Real Decreto 815/2013**, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación:

A nivel de la normativa autonómica en la Región de Murcia existen diversas disposiciones relacionadas con la presencia de humos contaminantes.

- **Ley 4/2009**, de 14 de mayo, de protección ambiental integrada:
- **Plan de Mejora de la Calidad del Aire de la Región de Murcia:**
- **Decreto 24/2010**, de 23 de abril, por el que se aprueba el Plan Regional de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica:

Estas normativas implican la implantación de medidas específicas y sanciones en caso de incumplimiento:

- **Autorizaciones Ambientales:** Las actividades agrícolas que impliquen la quema de residuos deben contar con las autorizaciones pertinentes que regulen sus emisiones y medidas de control.
- **Planes de Acción Locales:** Los municipios en la Región de Murcia pueden desarrollar planes de acción locales para combatir la contaminación del aire, alineados con las normativas autonómicas y nacionales.
- **Sanciones:** El incumplimiento de las normativas puede conllevar sanciones administrativas, que incluyen multas y la obligación de adoptar medidas correctivas.

F.1.3. Lleida

Lleida es la capital de la región más agrícola de Catalunya. La economía de esta zona depende en gran medida de la producción agroalimentaria incluyendo la producción agraria, ganadera y la industria de transformación ligada a las anteriores actividades

Lleida es conocida mundialmente por la fruta dulce, que ocupa unas 34.000 hectáreas, aproximadamente el 82% del total catalán en superficie frutícola y siendo un referente en fruticultura en el conjunto del Estado Español.

La protección frente a las heladas de estos cultivos siempre ha sido una preocupación de los productores y de todos los actores de la cadena productiva que necesitan tener una producción elevada y continua de producto (suministradores de insumos, centrales de confección, etc), para mantener su actividad.

Esta preocupación se ha visto incrementada después de los dos episodios de heladas importantes que se produjeron los años 2021, 2022 y 2024 (apartado C.1.3 en página 48). Esto se ha traducido en una mayor inversión en sistemas de defensa activa, especialmente en **instalaciones de aspersión y microaspersión** (en las zonas con disponibilidad de agua). Las torres de ventilación son utilizadas en menor medida y finalmente las velas o estufas se emplean en parcelas muy

puntuales. Sin duda, la concienciación en la necesidad de protegerse en lo posible frente a las heladas se ha potenciado en los últimos años

Desde el punto de vista social se podría afirmar que Lleida mantiene un vínculo más estrecho con la actividad agraria que otras regiones dedicadas mayoritariamente a la industria o al turismo. Los habitantes de la zona mantienen, directamente o a través de familiares, cierta relación con la cultura y las problemáticas rurales.

Por tanto, el tema de **las heladas y los métodos de control empleados no suelen provocar conflictos sociales** más allá de las molestias generadas cuando se emplean sistemas que producen humo en las cercanías de las ciudades más importantes y especialmente la capital de la provincia.

Siendo Lleida una zona de regadío tradicional el uso del agua para el control de heladas está completamente aceptado e incluso es preconizado como el sistema de lucha ideal como alternativa a los sistemas que producen humo²⁰.

²⁰ Diari Segre (4-4-2022.- Ecologistes demanen prohibir les cremes contra les gelades als camps de Lleida per la "contaminació" que produeixen. https://www.segre.com/ca/comarques/220404/ecologistes-demanen-prohibir-les-cremes-contra-les-gelades-als-camps-lleida-per-contaminacio-que-produeixen_163354.html Consultado el 6 de junio de 2024.

F.2. Francia.

F.2.1. Moyenne-Garonne

Las heladas afectan principalmente a cuatro especies: vid, manzanas, ciruelas y kiwis. Las bayas, los frutos de hueso, las nueces, las almendras, las avellanas y las castañas (véase más abajo) se cultivan en superficies más pequeñas, o tradicionalmente en laderas menos propensas a las heladas, pero a menudo se vieron afectadas en 2021, 2022 e incluso localmente en 2024.

Tarn-et-Garonne y Lot-et-Garonne son departamentos tradicionalmente productores de fruta de hueso y pepita, con un descenso de melocotoneros y albaricoqueros debido a problemas de asfixia en el valle del Garona. En cambio, a pesar de los problemas de tizón bacteriano, el kiwi sigue creciendo, tendencia favorecida por un clima más cálido.

La ciruela de Ente, para producción de pasa de Agen, sufrió mucho las heladas de 2021 y 2022, sobre todo en las llanuras fértiles del Lot.

Las viñas, que han renunciado al desherbado en favor del pasto permanente, se han encontrado aún más vulnerables debido al inicio más temprano de la vegetación, lo que también es cierto para los ciruelos, manzanos y perales.

Los productores de kiwis y algunos viticultores y productores de manzana siguen controlando las heladas mediante riego sobre el follaje en las zonas propensas a las heladas, donde el agua es abundante. Donde los recursos hídricos son limitados, se ha desarrollado la protección mediante torres fijas, aunque es imposible proteger por debajo de -3,5 a -4°C y la superficie activa rara vez supera las 3 ha.

En 2021, se demostró en el sector de Saint-Emilion que el humo producido por la combustión de paja o heno húmedo no aumenta la temperatura porque las partículas emitidas son más pequeñas que la longitud de onda de la pérdida de calor por infrarrojos (ACMG).

Las fuertes heladas de 2021 y 2022 han ayudado, en cierto modo, a seleccionar sistemas de control eficaces. A los vendedores de polvos y otros productos supuestamente diseñados para evitar las heladas se les hace menos caso, y sistemas como los ventiladores calefactores horizontales remolcados sólo se utilizan durante las heladas leves. Los sistemas de calefacción propuestos para las torres eólicas con el fin de aumentar su eficacia en caso de fuertes heladas no han dado resultados concluyentes, salvo desde el punto de vista del consumo excesivo de combustibles fósiles.

El problema del ruido de las torres eólicas de dos palas, cuyas puntas de hélice superan la barrera del sonido, está en vías de solución, o al menos de atenuación, mediante la instalación de hélices de cuatro o cinco palas. Sin embargo, el precio de compra de este tipo de torres ha subido a unos 60.000 euros ¡por 3 hectáreas! El uso de drones equipados con cámaras termográficas está revolucionando nuestra comprensión de los movimientos del aire provocados por las torres eólicas. He aquí una imagen tomada en una noche helada por un dron en un plano inclinado cerca de una viña protegida por una torre con tres palas cerca de Saint-Emilion (Figura 59).

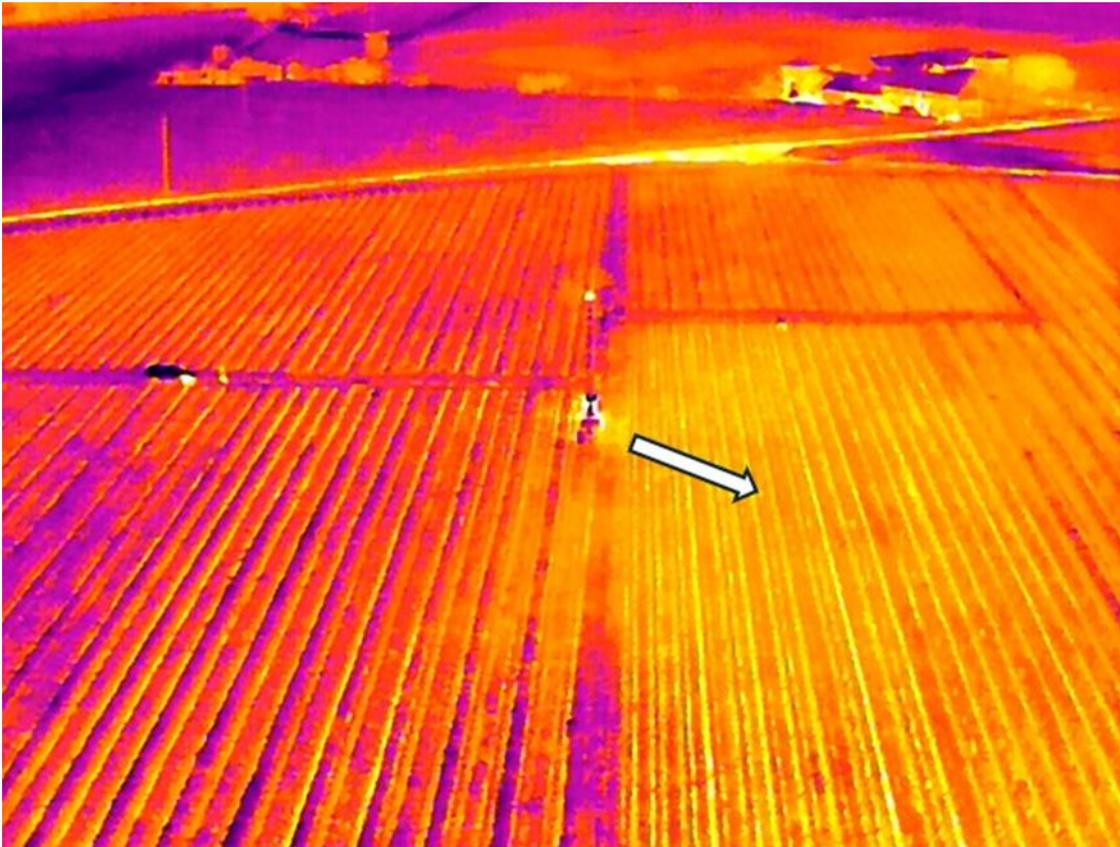


Figura 59.- Imagen térmica obtenida por un dron (píxel 5 cm), a su altitud máxima autorizada, de una viña protegida por una torre eólica tripala durante una noche de helada por radiación en el viñedo de Saint-Emilion. La rotación es en el sentido de las agujas del reloj.

En los lugares en los que la calefacción aún se realizaba con calefactores de gasóleo, las críticas de los habitantes de las ciudades vecinas incitaron a los viticultores a cambiar a otros métodos menos contaminantes.

No hay movimientos sociales en contra de la lucha antiheladas de la misma forma que tampoco lo hay en verano contra el riego, porque la población local sigue preocupada por el éxito de la producción local de vino y fruta. El gobierno es partidario de utilizar mayores volúmenes de agua en primavera para combatir eficazmente las heladas, cuando el suelo lo permita, en lugar de prestar ayuda financiera a los agricultores en dificultades tras una helada. El problema sigue siendo el caudal instantáneo disponible en la explotación, dado que las redes de suministro de agua están diseñadas para el riego de verano, que sólo requiere el equivalente a 40 m³/ha al día, mientras que para combatir las heladas se necesita ese volumen/ha por hora durante unas diez horas, lo que implica bombas y tuberías más grandes para transportar casi diez veces el caudal.

Los debates sobre la aplicación de soluciones sostenibles para luchar contra las olas de calor estivales se centran en las formas de suministrar mayores volúmenes de agua a las parcelas que hay que proteger con almacenamiento intermedio y un mejor uso de las aguas subterráneas aluviales. Asimismo, el riego por goteo, que no humedece el suelo, está siendo cuestionado y sustituido por sistemas de aspersión aérea de baja presión. Esto permitirá aumentar la conductividad térmica del suelo justo antes de una ola de frío en primavera, reduciendo el riesgo entre 1 y 2°C, y climatizar las parcelas en verano (proyectos piloto en curso). He aquí una imagen térmica tomada el 6/08/2024 en la región de Hérault, que muestra una plantación de manzanos

regado por aspersión a una temperatura de 25°C, la zona regada por goteo a 30°C y el campo desnudo de la izquierda a ¡40°C! (Figura 60).

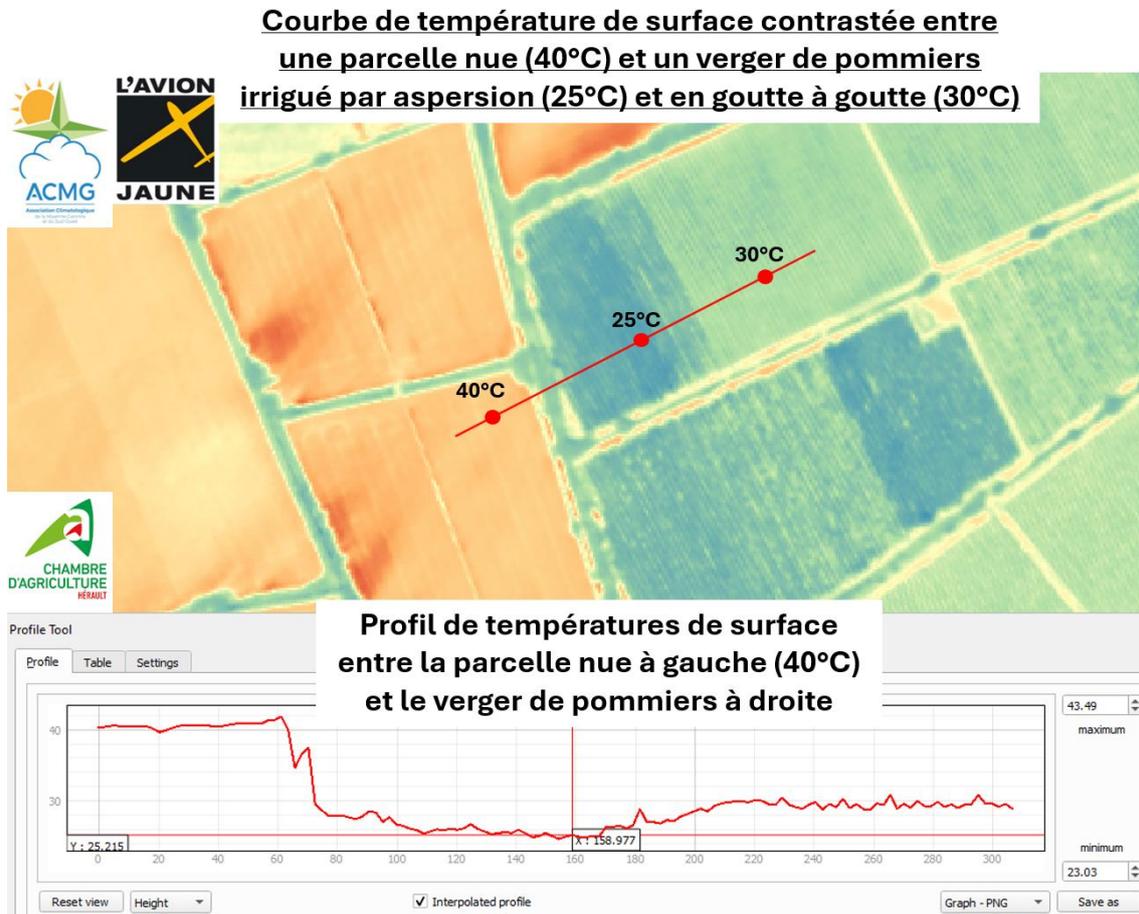


Figura 60.- Imagen térmica obtenida con un ultraligero (píxel 2 m) el 06/08/2024 en el departamento de Hérault hacia las 14h30 para caracterizar las islas de calor y de frescor y constatar el efecto positivo del riego de los huertos para atenuar el impacto de las olas de calor.

Se está debatiendo la cuestión de las tarifas eléctricas, que se reducirán a partir del 1 de abril, con vistas a lograr unos costes de explotación aceptables a partir de marzo, pero para ello habrá que competir con otros usos de la electricidad en Francia, principalmente el nuclear.

Por último, el seguro de cosecha no encuentra, por el momento, demasiado apoyo entre los productores de manzanas y kiwis que ya han instalado redes antigranizo, ni entre los productores en dificultades que consideran demasiado elevadas las primas de este seguro.

F.2.2. Zona productora de castaña

Puede resultar difícil cuantificar el efecto social de las heladas primaverales sobre los castaños. Sin embargo, empíricamente, los productores de castañas atribuyen las pérdidas de cosecha en un 70% de los casos al mal tiempo durante la floración, en un 25% de los casos a temperaturas

poco propicias para la aparición de flores femeninas y en un 5% de los casos a las heladas primaverales²¹.

En el suroeste de Francia, los productores se limitan actualmente a observar el impacto de las heladas cuando se producen. Su principal preocupación es cómo conciliar su presupuesto anual (cómo pagar los gastos) con un descenso de la producción debido a las heladas. También tienen dudas sobre el efecto de las heladas en el cese de la savia, el retraso de la vegetación y el debilitamiento del árbol, que no pueden observarse directamente tras la helada y que pueden contribuir a una pérdida de rendimiento.

Los castañicultores suelen tener varios cultivos. La protección del cultivo del castaño pasa a veces a un segundo plano frente a la gestión de los demás cultivos de la explotación, y es en el momento de la cosecha cuando se evalúan las consecuencias del año (climáticas y sanitarias), con una cierta pasividad ante un año "bueno" o "malo".

Una cuestión que se plantea es cómo identificar las palancas que permitan 1) sensibilizar sobre los riesgos de las heladas primaverales y 2) implicar a los agricultores en la protección contra las heladas.

²¹ •Mouravy, M. 2021. Le gel sur châtaignier – Sensibilités, physiologie et variétés. La journée de la châtaigne, Mazeyrolles, France. (Com. Pers.).

F.3.Portugal

En Portugal, aunque la ocurrencia de heladas en primavera es muy frecuente en algunas regiones, especialmente en el interior del país y sobre todo en el nordeste, donde la producción frutícola tiene una importancia económica y social significativa, el uso de métodos activos de protección contra las heladas es insignificante y se limita a unos pocos productores. **En este sentido, la ocurrencia de heladas es vista por la mayoría de los productores como un fenómeno natural y una fatalidad en la que poco o nada se puede hacer para prevenir los daños.**

En consecuencia, los métodos de protección contra las heladas no presentan aspectos sociales o económicos relevantes. Los principales aspectos que se pueden mencionar están relacionados con las pérdidas y sus consecuencias para la sostenibilidad económica de los productores y de las cooperativas y empresas del sector. El seguro de cosecha minimiza estos impactos, pero no es suficiente para garantizar la sostenibilidad de la actividad agraria a medio y largo plazo. La reducción de la producción afecta a la actividad de las cooperativas y empresas del sector, generando problemas sociales relacionados con el desempleo.

G. Papel del seguro agrario en la gestión del riesgo de heladas

En todos los países y regiones que abarca este estudio la figura del seguro agrario en su variante de cobertura de daños por heladas está muy desarrollada.

A continuación, se describen las características principales de las coberturas de los seguros agrarios en cada zona.

G.1. España

El sistema español de Seguros Agrarios Combinados es un referente a nivel mundial. Ha evolucionado y adaptado a la realidad del sector, ofreciendo una amplia gama de productos y coberturas. El seguro agrario en España ha demostrado ser una herramienta esencial para gestionar los riesgos climáticos y mantener la actividad agrícola y ganadera.

Los seguros agrarios en España se encuentran regulados por la Ley de Seguros Agrarios Combinados y su Reglamento donde se establecen las normas y directrices para su funcionamiento en el país²².

Algunos de los aspectos clave relacionados con la legislación de seguros agrarios en España con:

- 1. Ley de Seguros Agrarios Combinados: La Ley 87/1978, promulgada el 28 de diciembre de 1978, establece las bases para los seguros agrarios combinados. Fue aprobada por acuerdo de los partidos políticos, organizaciones agrarias y entidades aseguradoras. **Esta ley es fundamental para el sistema consolidado de seguros agrarios actual.**
- 2. Reglamento para aplicación de la Ley de Seguros Agrarios Combinados: El Real Decreto 2329/1979, de 14 de septiembre, aprueba el reglamento que desarrolla la Ley de Seguros Agrarios Combinados. Este reglamento proporciona **detalles específicos sobre la implementación de los seguros agrarios.**
- 3. Plan de Seguros Agrarios Combinados: El gobierno español establece planes anuales de seguros agrarios. Estos planes definen las coberturas, subvenciones y medidas específicas para proteger a los agricultores y ganaderos ante riesgos climáticos, enfermedades y otros eventos adversos. **Los planes se actualizan regularmente y se aprueban mediante un acuerdo en Consejo de ministros.**
- 4. La Entidad Estatal de Seguros Agrarios (ENESA) es responsable de coordinar y supervisar el sistema de seguros agrarios en España. **ENESA trabaja en colaboración con las comunidades autónomas y otras entidades para garantizar la eficacia y la aplicación adecuada de las políticas de seguros agrarios.**
- 5. Reaseguro del Sistema Español de Seguros Agrarios: El sistema de seguros agrarios incluye un reaseguro que **comparte los riesgos entre las compañías aseguradoras y el Estado.** Esto garantiza la estabilidad y la sostenibilidad del sistema.
- 6. Registro de Tomadores: Existe un **registro centralizado de tomadores de seguros agrarios**, que permite un seguimiento y una gestión eficiente de las pólizas contratadas.

²² MAPA: Legislación sobre seguros agrarios:

https://www.mapa.gob.es/es/enesa/legislacion/legislacion/legislacion_estatal_materia_seguros.aspx

- El seguro agrario en España está diseñado para cubrir una **amplia gama de riesgos que afectan a la agricultura y la ganadería**. Algunos de los principales riesgos cubiertos incluyen:
 - Adversidades Climáticas: Heladas, Lluvias Torrenciales, Vientos Fuertes, Sequías, Granizo (Daños a cultivos y estructuras).
 - Incendios y Explosiones explotaciones agrícolas
 - Daños de fauna salvaje: daños causados por animales salvajes, como jabalíes o ciervos, que pueden afectar los cultivos.
 - Accidentes Laborales: ocurridos en la propia explotación agraria, como lesiones sufridas por los trabajadores.

Evolución de la cobertura del seguro y perspectivas de futuro

La contratación del seguro agrario en España **ha tenido un incremento muy significativo** a lo largo de los últimos años. Por ejemplo, el crecimiento de la superficie asegurada en 2020 experimentó un incremento del 23%, llegando a 7.8 millones de hectáreas y el capital asegurado ascendió a 15,200 millones de euros. En 2023, la siniestralidad registrada por el seguro agrario ascendió a 1,241 millones de euros, superando el récord de 2022 en un 56%²³. El plazo medio de pago de indemnizaciones fue de 26 días para siniestros agrícolas y 28 días para siniestros pecuarios. En 2023, se contrataron 366,701 pólizas de seguro agrario en España con una superficie asegurada de 5.97 millones de hectárea y un capital asegurado fue de 16,748 millones de euros (Figura 61).

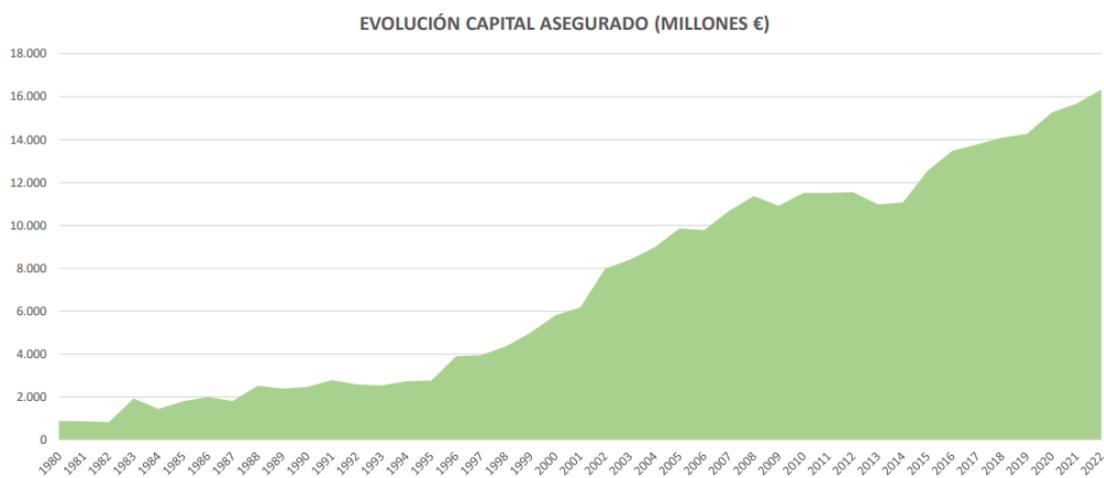


Figura 61.- Evolución del capital asegurado en España. Fuente: Miguel Pérez Cimas (ENESA).

El **45º Plan de Seguros Agrarios** de ENESA para 2024, destaca la importancia del seguro agrario en el contexto de eventos meteorológicos adversos que ha provocado un incremento significativo en las indemnizaciones percibidas por los asegurados, superando los 1.180 millones de euros debido a la frecuencia e intensidad de fenómenos naturales adversos. Igualmente se plantea la

²³ El Sistema Español de Seguros Agrarios <https://www.agroseguro.es>.

necesidad de implantar medidas selectivas para **garantizar la sostenibilidad** del sistema de seguros sin afectar a la mayoría de los asegurados, buscando un uso más eficiente de los recursos públicos. Algunas de estas medidas son:

- Apoyo a Colectivos Prioritarios: El nuevo plan prioriza el apoyo a jóvenes agricultores, profesionales y explotaciones prioritarias, ofreciendo subvenciones adicionales para fomentar la adaptación al cambio climático y la resiliencia del sector.
- Apoyo y Subvenciones: Se informa sobre el incremento progresivo de la dotación presupuestaria para subvencionar la contratación de pólizas, alcanzando los 284,5 millones de euros en 2024.
- Selección de Riesgos: Se han aplicado criterios más selectivos para asegurar que los recursos se utilicen de manera eficiente. Esto implica evaluar cuidadosamente los riesgos y adaptar las coberturas según las necesidades específicas de cada sector agrario.

Estas medidas buscan equilibrar la protección de los agricultores y ganaderos con la viabilidad financiera del sistema de seguros agrarios en España.

G.2. Francia

Los seguros agrarios en Francia desempeñan un papel crucial en la gestión del riesgo de heladas en la región de Nouvelle-Aquitaine, una de las principales zonas agrícolas de Francia. He aquí un resumen de los aspectos relevantes del papel del sistema de seguros agrarios en la región:

- **Legislación y organización del sistema de seguros agrarios:** En Francia, los seguros agrarios se rigen principalmente por el Code Rural et de la Pêche Maritime. Las reglamentaciones específicas pueden variar ligeramente de una región a otra, pero en general están supervisadas por organismos como FranceAgriMer y las compañías privadas de seguros agrarios.
- **Evolución de la cobertura del seguro:** Con el tiempo, la cobertura del seguro agrícola ha evolucionado para incluir una gama más amplia de riesgos, incluidos los daños por heladas. Actualmente, las pólizas pueden adaptarse para cubrir las pérdidas de cosechas y los daños causados por condiciones climáticas extremas, como las heladas.
- **Nivel de suscripción de los agricultores y evolución:** El nivel de suscripción de los seguros agrarios en Nouvelle-Aquitaine varía en función de diversos factores, como la concienciación de los agricultores, los incentivos gubernamentales y la gravedad de los riesgos meteorológicos. A lo largo de los años, se han intensificado los esfuerzos para promover el uso de los seguros agrícolas, pero la adopción todavía puede variar según los subsectores agrícolas y las preferencias individuales de los agricultores.

Cabe señalar que el seguro de cosecha es obligatorio para los productores de manzanas de Lemosín desde 2024. El seguro cubre toda la superficie de la explotación, sea cual sea la especie. Por consiguiente, los productores de manzanas que también tienen un castañar tienen asegurada su producción.

Los que sólo cultivan castaños no suscriben el seguro, o lo hacen de forma limitada, porque resulta demasiado caro en relación con los beneficios que aporta.

Desde la reforma del seguro de cosecha - Calamité agricole en 2022, los productores que no coticen a un régimen de seguros no pueden recibir indemnizaciones de la prefectura por catástrofes agrícolas.

Ventajas de los sistemas de seguros agrarios:

- **Estabilidad financiera:** El seguro agrario ofrece protección financiera a los agricultores en caso de pérdidas de cosechas debidas a imprevistos como las heladas, contribuyendo a mantener su estabilidad financiera.
- **Gestión del riesgo:** Permite a los agricultores gestionar mejor los riesgos asociados a las condiciones meteorológicas y otras catástrofes naturales, reduciendo el impacto financiero de las pérdidas de cosechas.
- **Apoyo a la producción de alimentos:** Al asegurar a los agricultores contra los riesgos, el seguro agrario contribuye a mantener la producción de alimentos, que es crucial para la seguridad alimentaria de la región.

Inconvenientes de los sistemas de seguros agrarios:

- **Costes:** las primas de los seguros pueden resultar caras para algunos agricultores, sobre todo para los que operan en zonas de alto riesgo o cultivan productos sensibles a las condiciones meteorológicas.
- **Limitaciones de la cobertura:** algunos fenómenos extremos o riesgos específicos pueden no estar cubiertos por las pólizas de seguro agrario estándar, lo que deja a algunos agricultores expuestos a importantes pérdidas económicas en caso de catástrofe.
- **Complejidad administrativa:** La contratación de un seguro agrario puede ser compleja y exigente en términos de papeleo administrativo, lo que puede disuadir a algunos agricultores de comprometerse con el proceso.

En resumen, el seguro agrario en la región de Nouvelle-Aquitaine, y en cualquier región de Francia, desempeña un papel esencial en la gestión de las heladas y otros riesgos asociados a la agricultura. Aunque ofrece ventajas significativas en términos de protección financiera y gestión de riesgos, también presenta desventajas tales como costes elevados y complejidad administrativa. Su uso y eficacia dependen de varios factores, como la reglamentación, la concienciación de los agricultores y los incentivos gubernamentales.

G.3. Portugal

En Portugal, la regulación del seguro agrario se basa en diversos Decretos y Órdenes Ministeriales:

- Decreto-Lei n.º 162/2015, de 14 de agosto, estableció el sistema de seguros agrarios (SSA), que se caracteriza por la concesión de ayudas a la contratación de seguros agrarios²⁴.
- Orden Ministerial nº 65/2014, de 12 de marzo, publicó el Reglamento del Seguro de Cosecha e Indemnización de Siniestros, que ya ha sido modificado por las Órdenes Ministeriales 132/2017, de 10 de abril, 109/2018, de 23 de abril, 61/2020, de 5 de marzo, y 59/2021, de 16 de marzo, y la Orden Ministerial nº 28/2023, de 12 de enero²⁵.
- Orden Ministerial 4585/2018 determina los tipos de referencia para el cálculo de las ayudas previstas en el Reglamento del Seguro de Cosecha e Indemnización de Siniestros.

En Portugal, el Ministerio de Agricultura, a través del Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I.P - IFAP, **subvenciona las primas de seguros hasta un máximo del 70%**, con el fin de reducir la carga que soportan los agricultores. Esta ayuda está subvencionada por la Unión Europea y favorece especialmente a los agricultores jóvenes y los que disponen del Estatuto de Agricultura Familiar.

El Seguro de Cosecha tiene por objeto asegurar la producción, garantizando a los agricultores una indemnización en caso de siniestro climático. El Seguro de Cosecha se organiza en dos tipos:

1. Seguro horizontal
2. Seguro especial en función del tipo de cultivo y de su localización: a) Seguro especial para Granadas en el Interior Norte; b) Seguro especial para Tomates de Industria; c) Seguro especial para Cítricos en el Algarve Barrocal; d) Seguro especial para Cerezas; e) Seguro especial para Peras de Rocha en el Oeste.

El riesgo de helada está incluido en ambos tipos de seguro, tiene una franquicia absoluta del 15% o del 25%, y el periodo de inicio, en el caso de los frutales, depende del estado fenológico de los cultivos. Esta información puede consultarse en la página web del IFAP²⁶.

Contratación del seguro

El seguro de cosecha puede contratarse de forma individual o colectiva (mediante Agrupaciones, organizaciones o asociaciones de productores reconocidas).

El agricultor está obligado a asegurar todas las parcelas/subparcelas de cada cultivo asegurado que posea, siempre que formen parte de la misma unidad de producción.

El rendimiento medio para el cultivo asegurado puede basarse o bien en la tabla de referencia fijada por la Oficina de Planificación, Políticas y Administración General (GPP), o bien en el valor medio de productividad obtenido en los tres últimos años, si el agricultor dispone de su propio historial.

²⁴ Decreto Ley nº 162/2015 del Ministerio de Agricultura y del Mar (2015). Boletín Oficial del Estado, 1ª serie - nº 158 - 14 de agosto de 2015.

²⁵ Orden nº 65/2014 del Ministerio de Hacienda y Agricultura y del Mar (2014). Regulación del seguro de cosechas e indemnización de siniestros. Boletín Oficial del Estado, 1ª serie - nº 50 - 12 de marzo de 2014.

²⁶ • IFAP (2024). Instituto de Financiamento da Agricultura e Pescas, I.P. <https://www.ifap.pt/> (Consultado el 1 de julio de 2024).

En caso de siniestro, la concesión de la indemnización está condicionada a que cada asegurado sufra pérdidas acumuladas superiores al 20 por ciento de la producción media anual del cultivo asegurado.

El cálculo de la indemnización se basa en la producción real con un límite sobre la producción asegurada. Se aplican franquicias variables de entre el 15 y el 25% en función del tipo de seguro.

Evolución de la cobertura del seguro y perspectivas de futuro

El sistema de seguros de cosechas en Portugal prevé un mecanismo de compensación de pérdidas, como resultado del reconocimiento público de que las aseguradoras no han sido capaces de distribuir el riesgo en el mercado internacional de reaseguros a costes adecuados para este tipo de pólizas y que la supresión de este mecanismo, en estas circunstancias, podría dar lugar a que los agricultores tuvieran más dificultades para contratar seguros, ya sea por la reducción de la oferta del producto o por el aumento de los costes.

Para reducir la carga de los agricultores, el Gobierno y el Ministerio de Agricultura apoyan las primas de los seguros, que pueden oscilar entre el 57% y un máximo del 70%. Estas ayudas favorecen a la agricultura familiar y a los jóvenes agricultores. Los distintos tipos de seguros (horizontales y especiales para distintos cultivos y regiones) han permitido adaptar el sistema de seguros al nivel de riesgo asociado a los distintos cultivos y regiones.

El capital asegurado ha aumentado significativamente en los últimos años. En 2014 el capital asegurado era de 163 millones de euros y en 2022 (último año con estadísticas) la cifra ascendía a 423 millones de euros, con un nivel de apoyo que alcanzaba los 13,5 millones de euros (IFAP, 2024).

Debido a la aleatoriedad climática actual y al aumento previsto de la frecuencia de fenómenos extremos en el contexto del cambio climático, la existencia de un sistema de seguros agrarios es imprescindible para garantizar la sostenibilidad del sector agrario y evitar el abandono de su actividad, especialmente en las regiones del interior ya muy afectadas por la despoblación.

H. Conclusiones y visiones del futuro de los problemas de heladas

Después de efectuar un repaso de los diferentes aspectos que concurren en la incidencia de las heladas sobre los cultivos y de los métodos de defensa disponibles, se pueden extraer algunas conclusiones y reflexiones sobre la situación actual, la evolución y los aspectos más relevantes sobre los que habría que incidir en el manejo futuro de estos eventos.

A pesar del aumento global de las temperaturas, el riesgo de heladas primaverales parece que va a aumentar y los daños asociados a ellas pueden ser importantes. La combinación de temperaturas invernales más suaves que modificaran la fenología de los cultivos, adelantando la aparición de los estadios más sensibles junto con episodios de invasión de aire polar esporádicos pero intensos, puede incrementar las pérdidas económicas en los cultivos.

H.1. España

Los métodos de defensa pasiva van a cobrar cada vez más importancia porque constituyen el sistema más eficiente y económico de evitar y controlar las heladas

Los medios de defensa pasiva centrados en el **conocimiento microclimático** a nivel de parcela de producción juntamente con los estudios de riesgo **actualizados** serán fundamentales en la toma de decisiones sobre nuevas plantaciones. En este sentido, los recientes trabajos realizados en Murcia con este objetivo pueden ser un ejemplo para seguir en otras zonas productoras españolas.

Igualmente, el estudio del impacto a nivel local de otras **técnicas de defensa pasiva de bajo costo y fácil aplicación** (retraso de podas, manejo de suelo y su cobertura, manejo del riego cuando esté disponible) debería ser prioritario.

Del mismo modo, el efecto sobre las heladas y el manejo óptimo de estructuras de protección de cultivos como las coberturas plásticas, mantas térmicas o las mallas anti-pedrisco son también interesantes.

En esta línea, entre las actividades de este proyecto An-Gel Sudoe se encuentra el estudio de la **poda tardía aplicada** a viñedos del País Vasco y el efecto en el balance térmico de las parcelas con diferentes instalaciones y sistemas de manejo (sistemas de protección combinados con manejo de la cubierta vegetal suelo y del contenido de agua de éste).

La utilización de nuevas herramientas de teledetección (**sensores térmicos** instalados en diversos tipos de plataformas aéreas) que permitirán conocer mejor las diferencias micro climáticas y la incidencia de los sistemas de manejo de las parcelas agrícolas sobre el comportamiento térmico. Este conocimiento permitirá mejorar la elección cultural y la actuación ante la presencia de futuras heladas. En el proyecto An-Gel Sudoe se desarrollarán también este tipo de mediciones en superficies grandes de diversas zonas productoras.

El sistema de protección basado en la **aplicación de agua sobre las plantas mediante aspersión o microaspersión** es el que permite un mayor grado de cobertura en las diferentes condiciones climáticas en que pueden producirse las heladas. Sin embargo, su uso presenta limitaciones especialmente centradas en la disponibilidad de agua. En un contexto de escasez y de presión social para reducir el consumo y aumentar la eficiencia, la utilización de los nuevos sistemas de aplicación de agua (microaspersión pulsada de bajo volumen y microaspersión localizada) será fundamental. Para ello es necesario experimentar con estos sistemas para determinar su comportamiento y sus limitaciones y optimizar los diseños y manejos de las instalaciones. En este sentido, en el proyecto An-Gel Sudoe se instalarán varias parcelas piloto con diversos sistemas de este tipo para aumentar el conocimiento sobre los mismos.

Teniendo en cuenta las limitaciones ambientales del uso de combustibles fósiles en los sistemas de aporte de calor, será necesario incrementar el conocimiento en la utilización de **sistemas basados en la biomasa** y en la combinación de diversos sistemas como ventiladores y calefactores de forma que se consiga la máxima eficiencia con el mínimo consumo de combustibles.

Ante la continua aparición de **productos químicos** con diferentes sistemas de acción cuyo reclamo de venta son la protección frente a las heladas sería muy indicado realizar ensayos de eficacia controlados para validar su efectividad real.

Según las previsiones y la evolución de los siniestros en los últimos años, es probable que aumenten los daños en los cultivos con las pérdidas económicas e indemnizaciones asociadas. Ante esta situación, los seguros agrarios deberían tomar un papel cada vez más relevante en la cobertura de estos riesgos. También se prevé que las aseguradoras actúen para limitar las superficies y las cuantías asegurables por los agricultores, aumentando así el nivel de desprotección y de riesgo de supervivencia en muchas explotaciones.

Igualmente, será necesaria una mayor concienciación social sobre los efectos de las heladas, no solo para el productor sino también para el consumidor en forma de desabastecimiento de mercados y aumentos de precios, que debería conllevar una mayor implicación de las administraciones tanto en el apoyo al estudio de las heladas como en la cobertura de los potenciales daños catastróficos producidos.

H.2. Portugal

Las principales conclusiones y perspectivas de futuro sobre el problema de las heladas en Portugal pueden sistematizarse en los puntos que se desarrollan a continuación.

La ocurrencia de heladas en una determinada región, aunque fuertemente determinada por las condiciones sinópticas, varía en función de sus condiciones topográficas, de la existencia de obstáculos al drenaje del aire frío y de las condiciones a escala parcelaria que determinan el balance energético y el consecuente enfriamiento nocturno de las superficies. En este sentido, el desarrollo de **modelos de previsión del riesgo de heladas a escala regional y local** que estén asociados a sistemas de alerta es esencial para la activación a tiempo de los métodos activos de protección contra las heladas.

La selección de los métodos de protección contra heladas más adecuados para un cultivo depende del contexto agrometeorológico y de las prácticas de cultivo utilizadas. En este sentido, es de fundamental importancia realizar estudios de investigación y desarrollo en las regiones y cultivos agrícolas más afectados por las heladas. Los proyectos de investigación deben incluir líneas sobre el tipo de helada y su **meso y micrometeorología (previsión de temperaturas mínimas a escala local y regional, estudio de las inversiones térmicas, etc.)** y evaluación de los distintos métodos activos y pasivos, incluida la evaluación económica. La transferencia de conocimientos a los responsables de la toma de decisiones, a los técnicos de las asociaciones de agricultores y productores y a los agentes del sector agrario en general es crucial para la futura aplicación de los métodos de protección contra las heladas.

Los **seguros de cultivos** desempeñan un papel importante a la hora de garantizar la estabilidad financiera de los productores y las empresas en caso de grandes pérdidas causadas por las heladas y otros fenómenos extremos como el granizo. Sin embargo, los elevados precios de las primas constituyen una carga financiera muy pesada, sobre todo para los pequeños productores, y por esta razón muchos no contratan seguros. En el futuro, deberían preverse medidas para reducir el importe de las primas de seguro que deben pagar los productores en caso de que utilicen métodos para combatir las heladas u otros fenómenos extremos. Estas medidas, además de reducir la carga financiera que supone el pago del seguro, servirían para fomentar la adopción de métodos de lucha contra las heladas y minimizar así las pérdidas de productividad en caso de helada.

H.3. Francia

En Francia dos son las zonas implicadas en este proyecto: la zona productora de castaña en la Región de Nouvelle-Aquitaine, (especialmente en el Departamento de Dordogne) y la Región de Moyenne-Garonne y el Sudeste, donde los principales cultivos habitualmente afectados por las heladas son los frutales (ciruelo y manzano principalmente) y la viña.

En el caso del castaño, el aumento de las temperaturas medias invernales está provocando que los árboles de las plantaciones situadas en el suroeste broten antes de tiempo, lo que los hace más vulnerables a las heladas primaverales. Por el momento, los cultivadores se limitan a observar el impacto de las heladas en sus explotaciones. Sin embargo, los efectos de las heladas sobre los rendimientos al final de la temporada van en aumento. Por ello, se hace necesario desarrollar sistemas de alerta y estrategias eficaces para minimizar el impacto de estas heladas en los huertos de castaños.

La **mejora de los modelos de previsión meteorológica** y de los sistemas de alerta de heladas repartidos por la región productora (estaciones piloto), coordinados con las alertas a través de boletines fitosanitarios y boletines técnicos emitidos por los profesionales del castaño, permitiría a los productores anticipar y planificar mejor la aplicación de las estrategias de protección contra las heladas. Las estrategias actualmente aplicables al cultivo del castaño son principalmente pasivas. La **estrategia activa destinada a aumentar la temperatura radiativa del suelo** manteniendo su saturación de agua durante el periodo crítico de las heladas primaverales parece una vía prometedora. Sin embargo, es necesario adaptarla a la fisiología del castaño, que no tolera el exceso de humedad ni los suelos mal drenados.

Las temperaturas críticas para los diferentes estados fenológicos del castaño son bien conocidas. Sin embargo, todavía es difícil **cuantificar el efecto de las heladas primaverales en estos estadios**. Comprender los mecanismos de desarrollo fisiológico de las diferentes variedades y la influencia de la temperatura en el desarrollo de la flor permitiría crear modelos que incorporasen tanto datos fisiológicos como climáticos con el fin de optimizar las estrategias de defensa contra las heladas. También sería necesario evaluar el impacto medioambiental de la utilización del sistema de riego en invierno para protegerse de las heladas, con el fin de optimizar los recursos hídricos para los periodos en los que no haya precipitaciones en verano.

La principal preocupación de los productores es cómo conciliar su presupuesto anual con un descenso de la producción debido a las heladas. A pesar de la reforma del seguro de cosecha para catástrofes agrícolas, que entra en vigor en 2023, la mayoría de los productores de castaña del suroeste de Francia no suscriben el seguro de cosecha, ya que sigue siendo demasiado caro en relación con las prestaciones que ofrece. En este contexto, resulta aún más importante **mejorar los sistemas de previsión y las estrategias de protección**. Por tanto, es necesario un enfoque que integre la innovación tecnológica, la investigación y el contexto económico de los productores de castaña en relación con su sistema de cultivo.

En el caso de la Moyenne-Garonne y el Sudeste francés, las conclusiones expuestas anteriormente por los socios españoles y portugueses son totalmente aplicables a la zona, y no vamos a repetirlas, sino que les sugerimos que vayan a leerlas o releerlas. Podemos añadir algunos elementos relacionados con los inconvenientes que la mejora de los suelos al aplicar técnicas de la agricultura regenerativa conlleva.

Por ejemplo, en los viñedos y huertos con una **cubierta herbácea permanente en el suelo**, desgraciadamente, se ha confirmado que hay un mayor riesgo de heladas, ya que se comprobado que las parcelas con hierba tienen una temperatura a nivel del suelo más baja (más de 3°C de diferencia) respecto a las parcelas en las que se ha eliminado toda la hierba. ¿Cómo conciliar la

vida del suelo y el riesgo de heladas? Estamos poniendo en marcha experimentos en el marco de An-Gel Sudoe para comprender mejor la influencia de la cubierta herbácea y la humedad del suelo en los balances energéticos y las heladas. Nuestra estrategia prevista consiste en preservar mejor y, si es posible, aumentar la humedad del suelo para que actúe como una especie de acumulador de calor que compense una parte importante del flujo de radiación durante la noche.

En el suroeste de Francia, la disponibilidad de agua en primavera es menos problemática que en la cuenca mediterránea. El problema es más bien una cuestión de caudal instantáneo, ya que los sistemas utilizados en los huertos calibrados para el riego sólo pueden suministrar entre 40 y 80 mm por día y por hectárea, mientras que entre 20 y 40 mm por hora y por hectárea de agua líquida necesitan transformarse en hielo para protegerse de temperaturas tan bajas como -5°C o -6°C. La cuestión de cómo distribuir eficazmente esta agua en el suelo o en las plantas que hay que proteger sigue pendiente y pone en tela de juicio, por ejemplo, el riego por goteo, menos eficaz que la pulverización para mojar toda la superficie del suelo.

En principio, cuando no se puede utilizar el agua como medio de control, ya sea porque los volúmenes disponibles son insuficientes o porque el sistema radicular de los cultivos no la tolera, el segundo medio de control, que proporciona protección hasta unos -4°C, es la torre de ventilación. Los comerciales de las torres proponen proteger superficies que superan ampliamente las 5 ha con cada una. Sin embargo, durante las fuertes heladas de 2021 y 2022, las superficies protegidas rara vez superaron las 3 ha, es decir, unos 100 m de diámetro alrededor de la torre. En el marco del proyecto An-Gel Sudoe, vamos a utilizar drones térmicos para observar distintos tipos de sistemas de ventilación con el fin de aclarar este punto. También esperamos obtener el principio de una respuesta a la siguiente pregunta: *¿la protección frente a las heladas es el resultado del calentamiento o del secado?* Se ha demostrado que la desecación aumenta la duración de la resistencia a las heladas, que no es superior a 10 minutos cuando los tejidos sensibles están húmedos, por ejemplo, por el rocío, mientras que puede superar una hora o más por debajo del umbral si la planta está seca.

Como somos socios del proyecto Life FrostDefend, la cuestión de la **influencia de las bacterias de la congelación** es objeto de un seguimiento con el INRAE de Clermont-Ferrand. Esto podría explicar la diferencia de sensibilidad, ya que algunas bacterias activas como núcleos formadores de hielo facilitan el inicio de la congelación del rocío a unos -2°C. En el caso de los soportes secos, como el número de bacterias activas es muy bajo, la congelación del agua superficial y la de los tejidos subyacentes sería muy limitada o al menos se retrasaría. Esperamos obtener algunas conclusiones al respecto, teniendo en cuenta que el uso de antibióticos está prohibido en Europa y que los tratamientos con cobre son limitados y menos eficaces sobre las bacterias.

Por último, en cuanto a otras soluciones que no han sido validadas, pero que siempre son presentadas como eficaces por los comerciales, a menudo son baratas y ya han funcionado en otros lugares, las heladas de 2021 y 2022 han dado una respuesta mordaz. ¡Sólo funcionan si no hiela! Por supuesto, es tentador probar productos estimulantes, agentes secantes, humos o nieblas que supuestamente reducen las pérdidas por radiación, pero ¿de qué sirve si no se basan en principios físicos conocidos y demostrables?

Para finales de 2026, esperamos haber adquirido más experiencia y datos para completar este documento, que reúne nuestros conocimientos actuales y propone soluciones eficaces siempre que se apliquen con seriedad y sigaTnatn principios de funcionamiento bien conocidos.