

Análisis de la evolución futura de los índices bioclimáticos vitícolas en la Denominación de Origen Ribeiro

GRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES
JACOBO ALCALDE GONZÁLEZ

Dr. Diego Fernández Nóvoa y Dr. Jorge Costoya Noguerol, investigadores del área de Física de la Tierra, del departamento de Física Aplicada, de la Universidad de Vigo.

INFORMAN:

Que el trabajo titulado **“Análisis de la evolución futura de los índices bioclimáticos vitícolas en la Denominación de Origen Ribeiro”**, presentado por *D. Jacobo Alcalde González*, fue realizado bajo nuestra dirección y autorizamos su presentación como Trabajo de Fin de Grado del Grado de Ciencias Ambientales al considerarlo apto para su defensa.

Diego Fernández Nóvoa

Jorge Costoya Noguerol

Ourense, 20 de abril de 2026

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la evolución futura de los índices bioclimáticos vitícolas en la Denominación de Origen Ribeiro, una de las principales regiones vitivinícolas de Galicia, con el fin de evaluar el impacto del cambio climático sobre las condiciones climáticas que determinan el desarrollo de la vid. Dada la elevada dependencia de este cultivo respecto a variables como la temperatura y la precipitación, resulta fundamental comprender cómo su variación puede afectar tanto a la productividad como a la calidad de las cosechas.

Para llevar a cabo este análisis, se han utilizado datos observados de las principales variables climáticas procedentes de una estación de medida de MeteoGalicia, junto con información proporcionada por la base de datos Iberia01, construida a partir de la interpolación de registros observacionales. Asimismo, se han empleado simulaciones climáticas generadas mediante el modelo regional de alta resolución WRF, forzado a partir de datos de modelos climáticos globales del proyecto CMIP6. Estas simulaciones han sido corregidas mediante técnicas de ajuste por cuantiles y posteriormente validadas, con el objetivo de garantizar la fiabilidad de las proyecciones.

A partir de estos datos, se han calculado diversos índices bioclimáticos ampliamente utilizados en viticultura, como son los índices de *Winkler*, *Huglin*, *Cool Night Index*, y el *Growing Season Suitability Index*, dependientes de la evolución térmica en la región, así como índices relacionados con la precipitación, como son *el Hydrothermic index of Brana, Bernon y Levadoux*, y el *Growing Season Precipitation Index*.

El análisis se ha basado en la comparación entre un período de referencia histórico (1985–2014) y dos horizontes temporales futuros, futuro cercano (2030–2059) y futuro lejano (2070–2099), bajo dos escenarios climáticos del IPCC: un escenario intermedio de emisiones (SSP2-4.5) y un escenario de altas emisiones (SSP5-8.5).

Los resultados muestran una tendencia clara hacia el incremento de las temperaturas, reflejada en el aumento de los índices térmicos, así como una disminución general de la precipitación, más acusada en el escenario más desfavorable y en el horizonte temporal lejano. El índice asociado al porcentaje de días con condiciones térmicas adecuadas para el desarrollo de la vid se mantiene relativamente estable, lo que indica que, pese al aumento térmico y disminución de precipitaciones, la región continuará presentando condiciones favorables para el desarrollo de la vid, aunque bajo un contexto climático más cálido.

Estos cambios implican una modificación de las condiciones bioclimáticas de la región, que podría traducirse en una aceleración de la maduración de la uva, un adelanto de la vendimia y un aumento del grado alcohólico de los vinos, acompañado de una posible reducción de su acidez y de su potencial aromático. Asimismo, la disminución de la precipitación podría incrementar el riesgo de estrés hídrico, afectando al desarrollo del viñedo, aunque también podría reducir la incidencia de enfermedades fúngicas como el mildiu.

En conjunto, los resultados evidencian que el cambio climático tendrá un impacto significativo sobre la viticultura en la Denominación de Origen Ribeiro, especialmente bajo escenarios de altas emisiones. Este hecho pone de manifiesto la necesidad de implementar estrategias de adaptación que permitan preservar la calidad de la producción y garantizar la sostenibilidad del sector vitivinícola en un contexto de cambio climático.

ÍNDICE

1.	Introducción	6
1.1.	Clima y sistema climático.....	6
1.2.	Cambio climático.	7
1.3.	Escenarios futuros	9
1.4.	Sector vinícola y su relación con el clima.....	11
1.5.	Área de estudio.....	14
1.6.	Objetivos.....	17
2.	Datos y metodología	18
2.1.	Bases de datos	18
2.1.1.	Meteogalicia	18
2.1.2.	Iberia01.....	18
2.1.3.	Modelo climático de alta resolución	19
2.2.	Metodología.....	20
2.2.1.	Índices bioclimáticos	20
2.2.2.	Corrección de sesgos	21
2.2.3.	Validación de las variables simuladas	22
2.2.4.	Cálculo de las variaciones futuras	22
3.	Resultados y discusión	24
3.1.	Comparación Meteogalicia-Iberia01	24
3.2.	Comparación WRF-Iberia01.....	25
3.3.	Validación de los índices vitivinícolas modelados	26
3.4.	Impacto del cambio climático sobre los índices vitivinícolas	27
4.	Conclusiones.....	33
	Bibliografía	35

1. Introducción

1.1. Clima y sistema climático

El clima se define como el promedio de las condiciones meteorológicas que caracterizan un lugar durante un periodo de tiempo prolongado, habitualmente considerando un mínimo de 30 años. A diferencia del tiempo meteorológico, que describe el estado instantáneo de la atmósfera en un momento y lugar concretos, el clima representa un comportamiento medio a largo plazo de variables como la temperatura, la precipitación o el viento ([Meteo Navarra, 2024](#)).

El sistema climático está formado por el conjunto de componentes de la Tierra que interactúan entre sí e influyen en el clima. Estos componentes, también denominados subsistemas, son la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la biosfera y la litosfera, y su interacción determina la evolución climática del planeta ([Gimeno et al., 2023](#)).

La atmósfera es una capa gaseosa que envuelve la Tierra y se mantiene unida a ella gracias a la fuerza de la gravedad. En esta capa tienen lugar todos los fenómenos meteorológicos y climáticos, por lo que desempeña un papel fundamental en la regulación del clima.

La hidrosfera comprende toda el agua presente en estado líquido en la Tierra, incluyendo océanos, mares, ríos, lagos y aguas subterráneas. Este subsistema actúa como un importante regulador térmico, ya que el agua tiene una elevada capacidad calorífica.

La criosfera está constituida por las masas de hielo continental y oceánico, la nieve y el permafrost. Su importancia radica en su influencia sobre el albedo terrestre y en su papel clave en la regulación del nivel del mar.

La biosfera engloba al conjunto de los seres vivos del planeta, tanto flora como fauna. A través de procesos como la fotosíntesis, la respiración o la transpiración, la biosfera interactúa activamente con el resto de subsistemas del sistema climático.

Por último, la litosfera está formada por los continentes y los fondos oceánicos. Este subsistema influye en el clima mediante factores como la orografía, la composición del suelo y la actividad geológica.

Es importante destacar que el sistema climático es dinámico y se encuentra en constante evolución. Los cambios que se producen pueden tener lugar a distintas escalas temporales, desde variaciones relativamente rápidas hasta transformaciones que se desarrollan a lo largo de miles de años.

1.2. Cambio climático.

El cambio climático se define como una variación significativa y persistente del clima de la Tierra a escala global o regional. Estas variaciones pueden tener un origen natural, asociado a procesos internos del sistema climático o a forzamientos externos, o un origen antropogénico, derivado de la actividad humana. En la actualidad, y especialmente desde el inicio de la Revolución Industrial a finales del siglo XVIII, la influencia humana se ha convertido en el principal motor de los cambios observados en el clima global (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021).

El desarrollo industrial, el uso intensivo de combustibles fósiles, la deforestación y determinados cambios en el uso del suelo han provocado un incremento notable de las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO₂) (Figura 1), el metano (CH₄) o el óxido nitroso (N₂O). Este aumento ha alterado el equilibrio energético del sistema Tierra-Atmósfera, intensificando el efecto invernadero natural y dando lugar a un aumento progresivo de la temperatura media global, fenómeno conocido como calentamiento global (Figura 2).

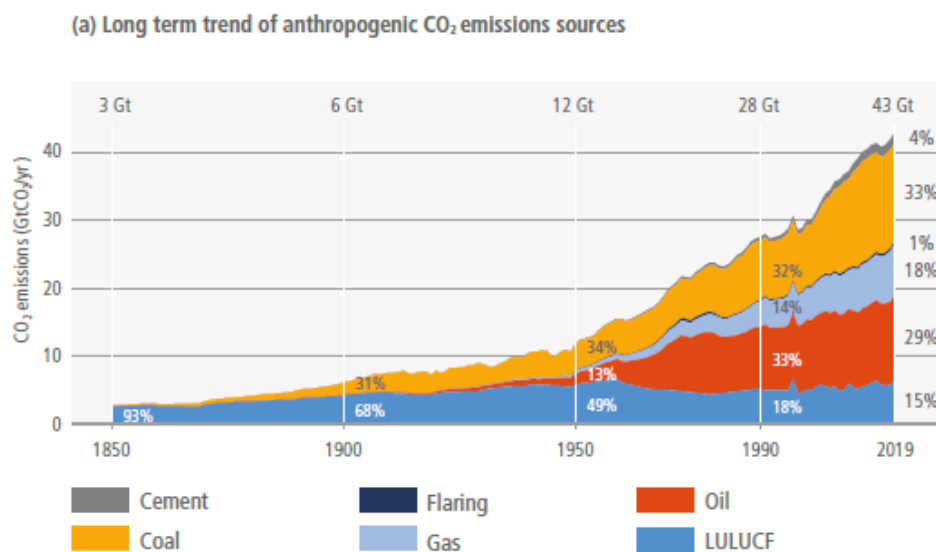


Figura 1. Gráfico de las emisiones de CO₂ desde el 1850 hasta el 2019, junto con sus principales fuentes (IPCC, 2022).

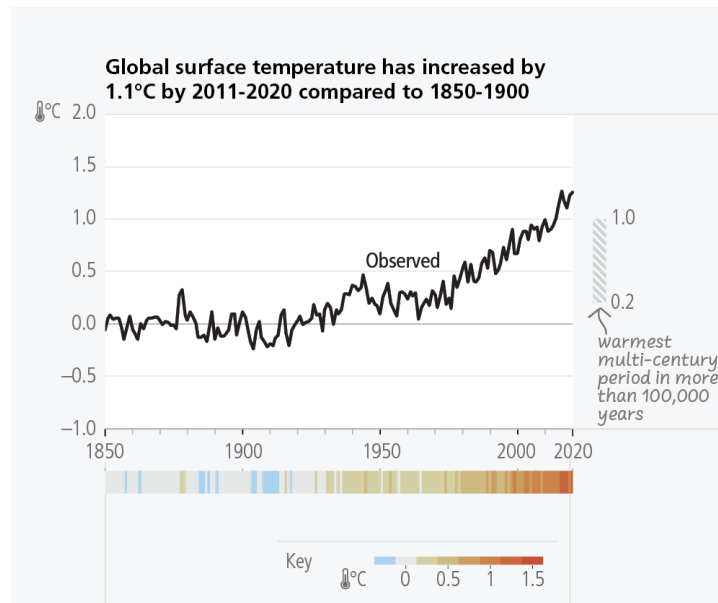


Figura 2. Gráfico del aumento de la temperatura de la superficie terrestre desde 1850 (IPCC, 2023).

El concepto de forzamiento radiativo, que puede ser definido como el equilibrio de energía existente entre la tierra y la atmósfera, permite cuantificar esta alteración del balance energético. Actualmente, el forzamiento radiativo es positivo, lo que implica que la Tierra absorbe más energía de la que emite al espacio. Esta acumulación de energía en el sistema climático es la causa fundamental del calentamiento observado en la superficie terrestre y en los océanos, tal y como reflejan los informes del IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático).

El calentamiento global se manifiesta a través de múltiples impactos físicos, ambientales y socioeconómicos (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021), entre los que destacan los siguientes:

- En primer lugar, se observa un aumento sostenido de la temperatura media superficial. Desde la década de 1980, cada decenio ha sido más cálido que el anterior, lo que ha favorecido la aparición de olas de calor más frecuentes, intensas y prolongadas. Este incremento térmico está estrechamente relacionado con un mayor riesgo de incendios forestales, tanto por el aumento de la temperatura como por la mayor duración de los periodos secos.
- En segundo lugar, el cambio climático está asociado a un incremento en la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos, como tormentas intensas, precipitaciones torrenciales o sequías prolongadas, entre otros. Aunque estos eventos han existido históricamente, su mayor recurrencia y capacidad destructiva supone un desafío creciente para los sistemas naturales y las actividades humanas.
- Otro impacto relevante es el deshielo de glaciares y masas de hielo, tanto continentales como oceánicas, lo que contribuye directamente al aumento del nivel medio del mar. Este proceso incrementa la vulnerabilidad de zonas costeras

y áreas situadas a baja altitud, poniendo en riesgo ecosistemas, infraestructuras y asentamientos humanos.

- El cambio climático también provoca una alteración de los ecosistemas y una pérdida de biodiversidad. Numerosas especies no son capaces de adaptarse con suficiente rapidez a las nuevas condiciones climáticas, lo que puede conducir a desplazamientos, reducciones poblacionales o extinciones. En el medio marino, este impacto se ve agravado por la acidificación oceánica, consecuencia de la mayor absorción de CO₂ por los océanos, que afecta de manera significativa a organismos calcificadores y a las cadenas tróficas ([Naciones Unidas, s.f.](#)).
- Por último, el aumento de las temperaturas medias tiene implicaciones directas sobre la salud humana, al favorecer la expansión geográfica de vectores de enfermedades, como ciertos insectos, y al intensificar episodios de estrés térmico en la población ([Comisión Europea, s.f.](#)).

En conjunto, estos efectos evidencian que el cambio climático no constituye un fenómeno aislado, sino un proceso complejo que afecta de manera transversal a los sistemas naturales y a los sectores socioeconómicos. Entre estos sectores, destacan especialmente aquellos con una fuerte dependencia de las condiciones climáticas, como la agricultura y, en particular, la viticultura, donde variables como la temperatura y la precipitación desempeñan un papel determinante en el desarrollo de los cultivos y en la calidad de las cosechas.

1.3. Escenarios futuros

El análisis de la evolución futura del clima se apoya en el uso de escenarios climáticos, que permiten explorar posibles trayectorias del sistema climático en función de distintos supuestos socioeconómicos y de emisiones. En la actualidad, los escenarios más utilizados en la investigación climática son los *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP), definidos y desarrollados en el marco del IPCC y empleados en su Sexto Informe de Evaluación (AR6).

Los escenarios SSP describen cinco posibles trayectorias socioeconómicas globales hasta el año 2100, considerando factores como el crecimiento económico, la evolución demográfica, el desarrollo tecnológico, el uso de recursos, las políticas energéticas y el grado de cooperación internacional. Estas trayectorias condicionan las emisiones futuras de gases de efecto invernadero y, en consecuencia, los cambios en el forzamiento radiativo y en las variables climáticas.

Cada uno de los escenarios SSP puede combinarse con distintos niveles de forzamiento radiativo, lo que permite generar proyecciones climáticas coherentes utilizadas por los modelos climáticos globales y regionales ([Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021](#)). De este modo, los SSP constituyen una herramienta fundamental para evaluar impactos, riesgos y posibles estrategias de mitigación y adaptación frente al cambio climático.

Los cinco escenarios socioeconómicos definidos (Riahi et al., 2017, *Climate Scenarios Primer*, (s. f.)), también ilustrados en la Figura 3, son los siguientes:

- SSP1. Sostenibilidad (*Taking the Green Road*).

Este escenario describe un mundo orientado hacia el desarrollo sostenible, con una reducción significativa de las desigualdades tanto entre países como dentro de ellos. Se prioriza el uso de energías renovables, la eficiencia energética y tecnologías respetuosas con el medio ambiente. El crecimiento económico se orienta al bienestar humano y a la conservación de los ecosistemas, lo que facilita tanto la mitigación de emisiones como la adaptación a los impactos del cambio climático.

- SSP2. Mitad de camino (*Middle of the Road*).

Representa una evolución intermedia, en la que las tendencias actuales sociales, económicas y tecnológicas continúan sin cambios profundos. El crecimiento económico es desigual, pero relativamente estable a escala global. Las emisiones se reducen de forma moderada, y la capacidad de adaptación y mitigación frente al cambio climático es intermedia.

- SSP3. Rivalidad regional (*Regional Rivalry*).

Este escenario se caracteriza por un resurgimiento del nacionalismo y una disminución de la cooperación internacional. Las prioridades se centran en la seguridad y el desarrollo interno, relegando la inversión en educación, tecnología y políticas ambientales. Las desigualdades persisten o aumentan, y la capacidad para reducir emisiones y adaptarse a los impactos climáticos es muy limitada.

- SSP4. Desigualdad (*Inequality*).

Describe un mundo altamente desigual, con una clara división entre regiones y grupos sociales. Mientras que los sectores con mayores recursos experimentan un elevado desarrollo tecnológico y pueden implementar medidas de mitigación, amplias partes de la población quedan expuestas y vulnerables a los efectos del cambio climático. En este escenario, la mitigación puede ser relativamente efectiva a escala global, pero la adaptación resulta muy compleja debido a la desigualdad existente.

- SSP5. Desarrollo impulsado por combustibles fósiles (*Fossil-fueled Development*).

Este escenario plantea un fuerte crecimiento económico y tecnológico basado en un uso intensivo de combustibles fósiles y en estilos de vida con un alto consumo de recursos y energía. Aunque la capacidad tecnológica permitiría una elevada adaptación a los impactos climáticos, las emisiones de gases de efecto invernadero alcanzan niveles muy elevados, lo que dificulta enormemente la mitigación del cambio climático.

En conjunto, los escenarios SSP permiten evaluar cómo diferentes decisiones socioeconómicas y políticas pueden influir en la evolución futura del clima. Su aplicación

resulta especialmente relevante para estudios sectoriales y regionales, como el presente trabajo, en los que se analizan los posibles cambios en variables climáticas clave, como la temperatura y la precipitación, y sus implicaciones sobre sistemas altamente dependientes del clima, como la viticultura.

En este contexto, los escenarios climáticos definidos por el IPCC permiten analizar cómo la evolución futura de variables climáticas fundamentales, como la temperatura y la precipitación, puede afectar a distintos sectores socioeconómicos. Entre ellos, destaca especialmente el sector agrícola, y en particular la viticultura, debido a su elevada sensibilidad a las condiciones climáticas. Por ello, el análisis de los escenarios SSP resulta esencial para evaluar los posibles impactos del cambio climático sobre regiones vitivinícolas concretas y para anticipar cambios en la productividad, la calidad de las cosechas y la sostenibilidad del sector.



Figura 3. Gráfico de los 5 escenarios climáticos desarrollados en el marco del IPCC y empleados en su Sexto Informe de Evaluación (AR6), según su dificultad de reducir las emisiones y conseguir adaptarse a posibles problemas que puedan aparecer. Elaboración propia a partir de datos de [Riahi et al., 2017, Climate Scenarios Primer \(s. f.\)](#).

1.4. Sector vinícola y su relación con el clima

El sector vitivinícola se caracteriza por una fuerte dependencia de las condiciones climáticas, siendo especialmente sensible a las variables de temperatura y precipitación, lo que influye de manera directa en el desarrollo fenológico de la vid, el rendimiento de las cosechas y la calidad final de la uva y el vino. La interacción entre estas variables climáticas y las distintas fases del ciclo vegetativo convierte a la viticultura en una actividad particularmente vulnerable a los cambios climáticos ([Jones et al., 2005](#))

La temperatura constituye uno de los factores climáticos más determinantes en el crecimiento y desarrollo de la vid. A lo largo de su ciclo anual, la planta presenta una

sensibilidad variable a las condiciones térmicas, siendo especialmente críticas las temperaturas extremas.

Las heladas invernales, siempre que no se alcancen valores inferiores a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, suelen tener un impacto limitado sobre la vid, ya que la planta se encuentra en reposo vegetativo. Sin embargo, las heladas primaverales representan uno de los mayores riesgos para el sector vitivinícola, al coincidir con la brotación y poder destruir yemas recién formadas, lo que puede ocasionar pérdidas significativas o incluso la pérdida total de la cosecha. Por su parte, las heladas otoñales, si se producen antes de la caída de la hoja, pueden afectar negativamente a la acumulación de reservas de la planta (D.O. Rías Baixas., s.f.).

No obstante, las bajas temperaturas también pueden ejercer un efecto beneficioso, al reducir la proliferación de plagas, insectos y enfermedades fúngicas, que tienden a desarrollarse con mayor facilidad en climas más cálidos.

Al igual que ocurre con la temperatura, el efecto de la precipitación sobre la vid depende en gran medida de su distribución temporal. Las precipitaciones durante los meses de invierno resultan fundamentales, ya que permiten la recarga hídrica del suelo, asegurando la disponibilidad de agua durante la primavera, periodo en el que las lluvias suelen ser más escasas.

Un déficit de precipitaciones invernales puede provocar un crecimiento vegetativo lento y desigual. Por el contrario, precipitaciones excesivas durante la primavera pueden generar problemas de encharcamiento y favorecer el desarrollo de enfermedades fúngicas, como el mildiu, con consecuencias negativas para la producción (D.O. Rías Baixas., s.f.).

Las lluvias estivales, generalmente de corta duración, pero elevada intensidad, pueden resultar beneficiosas al favorecer la maduración de la uva, especialmente cuando van acompañadas de altas temperaturas que facilitan la evaporación y reducen el riesgo de infecciones fúngicas. Sin embargo, precipitaciones abundantes durante el periodo previo a la vendimia, pueden ser altamente perjudiciales, ya que incrementan el riesgo de pudrición de los racimos y deterioro de la calidad de la uva.

En el contexto del cambio climático, las modificaciones en los regímenes térmicos y pluviométricos suponen un desafío creciente para el sector vitivinícola. El aumento de las temperaturas medias, la mayor frecuencia de eventos extremos y la alteración de los patrones de precipitación pueden modificar el calendario fenológico de la vid, adelantar la maduración de la uva y afectar tanto al rendimiento como a la calidad de los vinos.

Para analizar y cuantificar estas relaciones entre clima y viticultura, se emplean índices bioclimáticos, como el índice de Winkler o el índice de Huglin, que permiten caracterizar el clima térmico de una región y evaluar su idoneidad para el cultivo de la vid, así como estimar posibles cambios futuros bajo distintos escenarios climáticos (Piña-Rey et al., 2020).

El sector vitivinícola desempeña un papel relevante dentro de la economía y la cultura de España, consolidándose como una de las principales potencias vitivinícolas a escala mundial. Además de su importancia histórica y social, este sector destaca por su peso económico y por su elevada capacidad exportadora.

España es el país con mayor superficie de viñedo del mundo, alcanzando en 2024 aproximadamente 911 080 hectáreas cultivadas, según datos de la [Organización Interprofesional del Vino de España \(s.f.\)](#) (OIVE). Asimismo, se sitúa entre los principales productores mundiales de vino, con una producción media anual cercana a los 32,4 millones de hectolitros en 2023 ([Federación Española del Vino, s.f.](#)).

El carácter internacional del sector se refleja en la existencia de cerca de 3 995 bodegas exportadoras en 2023 según la Federación Española del Vino, que comercializaron vino español, con un valor de casi dos mil millones de litros entre septiembre del 2024 y agosto de 2025 según fuentes de OIVE. Esta proyección exterior contribuye de manera notable a la balanza comercial y refuerza el posicionamiento de España en los mercados vitivinícolas internacionales.

Desde el punto de vista económico, el sector vitivinícola representa en torno al 1,9 % del Producto Interior Bruto, según la Federación Española del Vino, lo que se traduce en una aportación superior a los 28 000 millones de euros anuales. Además, según OIVE, genera cerca de 386 110 puestos de trabajo equivalentes a jornada completa, lo que pone de manifiesto su importancia como motor económico y social en amplias regiones del país.

En el ámbito regional, el sector vitivinícola constituye un pilar económico y social de gran relevancia en Galicia, donde combina la producción de uva y vino con actividades complementarias como la comercialización, el enoturismo y la dinamización del medio rural.

De manera global, el sector vitivinícola gallego genera aproximadamente 8 800 empleos directos ([Wines of Galicia, 2023](#)), a los que se suman en torno a 3 700 empleos indirectos, lo que eleva el impacto total del sector a unos 15 000 puestos de trabajo. Estos datos reflejan el papel estratégico de la viticultura en la economía regional y su contribución a la fijación de población en áreas rurales.

Un elemento distintivo del sector en Galicia es la importancia de las Denominaciones de Origen (D.O.), que actúan como motores de desarrollo territorial. En conjunto, las cinco D.O. gallegas, Ribeiro, Rías Baixas, Ribeira Sacra, Monterrei y Valdeorras, concentran, según la [Fundación Juana de Vega \(2023\)](#), alrededor de 2 858 empleos directos asociados a la producción y comercialización de vino, lo que representa aproximadamente el 2,1 % del empleo en sus respectivas comarcas. En su total, superan las 10000 ha de extensión, tal y como se muestra en la figura 4.

La actividad económica vinculada a estas denominaciones genera un valor superior a 258 millones de euros ([Fundación Juana de Vega, 2023](#)), evidenciando la relevancia de la viticultura no solo como actividad agrícola, sino también como elemento estructurador del tejido económico y social del territorio.

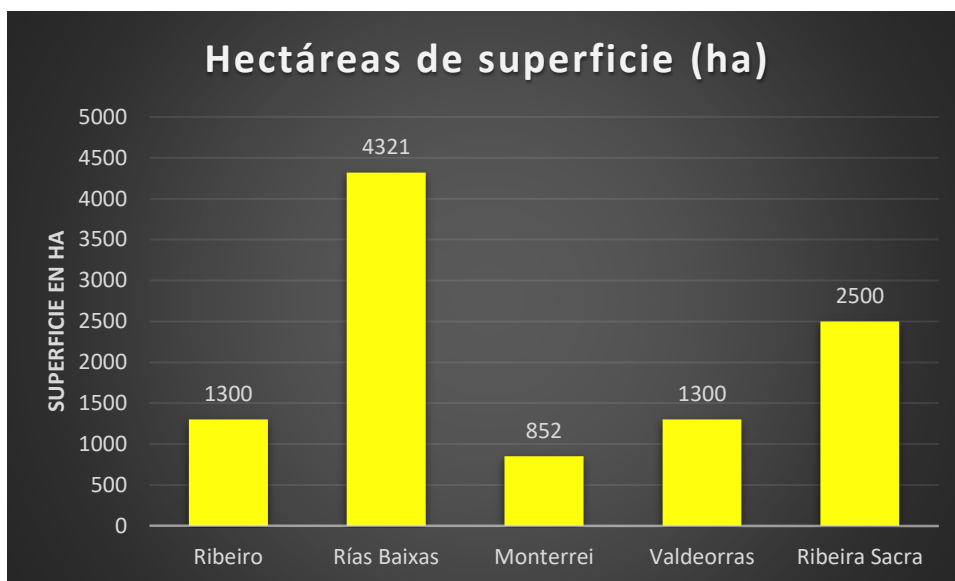


Figura 4. Gráfico de comparación de la superficie de las 5 D.O. de Galicia. Elaboración propia a partir de datos de Consejo Regulador de la D.O. Ribeiro (s. f.), Consejo Regulador de la D.O. Ribeira Sacra (s. f.), Consejo Regulador de la D.O. Rías Baixas (s. f.), Consejo Regulador de la D.O. Monterrei (s. f.) y Vinoselección (2024).

1.5. Área de estudio

El área de estudio de este trabajo se centra en la Denominación de Origen Ribeiro, localizada en la comunidad autónoma de Galicia, concretamente en el sector noroccidental de la provincia de Ourense, tal y como se puede observar en la Figura 5. Esta denominación se sitúa en la zona de confluencia de los valles de los ríos Miño, Avia y Arnoia, configurando un paisaje vitivinícola de gran singularidad.

La D.O. Ribeiro abarca una superficie aproximada de 1 300 hectáreas dedicadas al cultivo de la vid. Su territorio comprende total o parcialmente varios municipios, entre los que destacan Ribadavia, Arnoia, Castrelo de Miño, Carballeda de Avia, Leiro, Cenlle, Beade, Punxín y Cortegada, además de áreas pertenecientes a otros municipios limítrofes. Esta distribución territorial da lugar a una notable diversidad topográfica y microclimática dentro de la denominación.

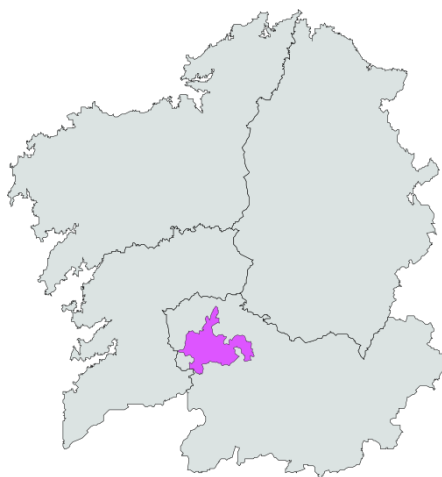


Figura 5. Mapa municipal da Denominación de Orixe Ribeiro (Té y Kryptonita, 2007).

Uno de los rasgos más característicos de la D.O. Ribeiro es su clima, que puede definirse como de tipo mediterráneo con una marcada influencia atlántica. Esta singularidad climática se debe, en gran medida, a la proximidad relativa del océano Atlántico y a la presencia de cadenas montañosas que delimitan el territorio por el norte y el oeste. (Consejo Regulador de la D.O. Ribeiro, s.f.). Estas barreras orográficas favorecen la aparición de un efecto Foehn en la parte oeste de estas montañas, contribuyendo, por lo tanto, a la reducción de la precipitación y al aumento de las temperaturas en los valles interiores, generando condiciones especialmente favorables para el cultivo de la vid.

Como resultado de esta combinación de factores, la D.O. Ribeiro presenta un régimen térmico más suave y seco que otras zonas de Galicia, lo que, según el Consejo Regulador de la D.O. Ribeiro, s.f., permite un adecuado desarrollo del ciclo vegetativo de la vid y una correcta maduración de la uva. No obstante, esta misma configuración climática hace que la zona sea especialmente sensible a variaciones en la temperatura y la precipitación, tanto en términos de valores medios como de eventos extremos.

Asimismo, la D.O. Ribeiro destaca no solo por su relevancia histórica, sino también por su impacto económico y social en el territorio que abarca. A pesar de contar con una extensión relativamente reducida en comparación con otras denominaciones, su contribución al empleo y al Producto Interior Bruto de su comarca resulta especialmente significativa, tal y como se puede observar en la Figura 6.

Estas características convierten a la Denominación de Origen Ribeiro en un área de estudio idónea para analizar los posibles impactos del cambio climático sobre la viticultura. La aplicación de modelos climáticos y de índices bioclimáticos permite evaluar cómo las variaciones pasadas y futuras en las condiciones climáticas pueden influir en la idoneidad climática de la región y en la sostenibilidad del sector vitivinícola a medio y largo plazo.

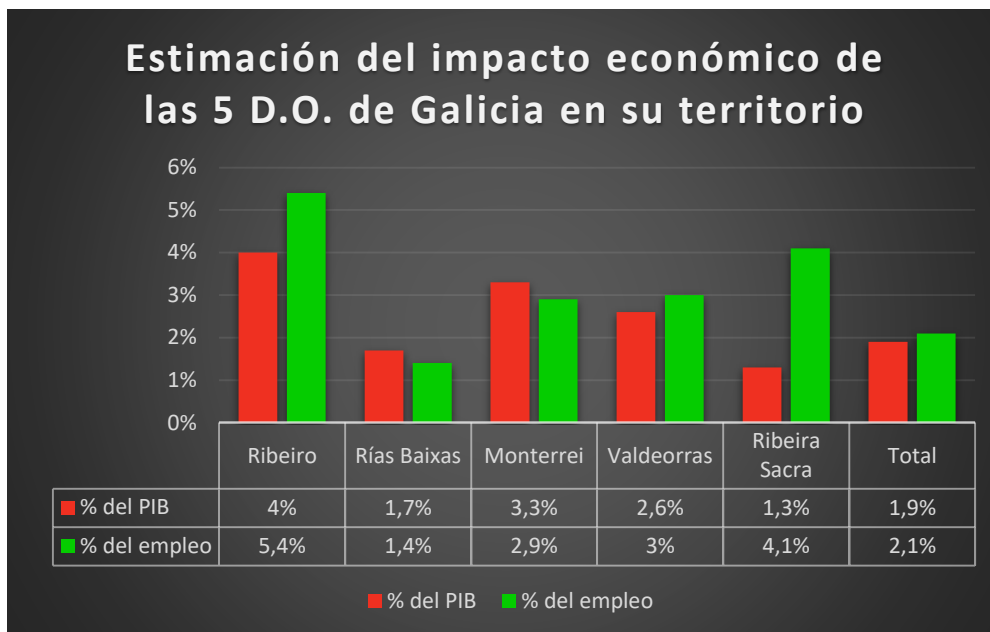


Figura 6. Gráfico de comparación del impacto económico en su territorio de las 5 D.O. de Galicia. (elaboración propia a partir de datos de la [Fundación Juana de Vega \(2023\)](#)).

La producción del Ribeiro se caracteriza por un claro predominio de los vinos blancos, tal y como se puede observar en la Tabla 1, que representan un porcentaje superior al 90 %, frente a los vinos tintos, con un porcentaje aproximado en el entorno del 7 %, mientras que otras elaboraciones como el tostado o el espumoso tienen una presencia residual. Desde el punto de vista estructural, la denominación ha experimentado en los últimos años una reducción en el número de viticultores y hectáreas registradas, especialmente a partir de 2019, asociada principalmente a cambios administrativos y a procesos estructurales del sector, como el envejecimiento de la población activa y la concentración de la producción.

No obstante, estos cambios no se han traducido en una disminución significativa de la producción, manteniéndose actualmente estable en torno a los 10 millones de kilogramos de uva anuales, con una calidad constante de las cosechas. Esta estabilidad productiva, junto con la relevancia económica del sector, refuerza el interés de la D.O. Ribeiro como área de estudio para analizar los posibles efectos del cambio climático sobre la viticultura.

Tabla 1. Datos generales de producción de la denominación de origen del Ribeiro desde 2015 hasta 2024. Creación propia a partir de datos del [Consejo Regulador de la D.O. Ribeiro, \(s.f.\)](#).

DENOMINACIÓN DE ORIGEN RIBEIRO	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Nº VITICULTORES REGISTRADOS EN LA D.O.	5.780	5.782	5.752	4.127	1.650	1.678	1.667	1.644	1.597	1.515
HECTÁREAS REGISTRADAS EN EL CONSEJO REGULADOR	2.350	2.232	2.220	2.250	1.374	1.301	1.293	1.286	1.083	1.264
Nº BODEGAS Y VITICULTORES	115	115	115	111	109	96	98	101	102	101
KG TOTALES DE VENDIMIA	14.223.253	11.655.096	9.636.660	9.059.541	12.023.903	9.543.745	9.957.657	10.331.091	11.508.343	11.104.244
% UVA BLANCA	92,71%	93,43%	92,32%	91,71%	91,93%	94,31%	94,10%	91,83%	92,51%	94%
% UVA TINTA	7,29%	6,57%	7,68%	8,29%	8,07%	5,69%	5,90%	8,17%	7,49%	6%
KG UVA BLANCA	13.187.023	10.889.762	8.896.966	8.308.077	11.054.174	9.000.297	9.369.770	9.486.795	10.646.837	10.462.665
KG UVA TINTA	1.036.230	765.335	739.694	751.464	969.729	543.448	587.887	844.296	861.506	641.579
CALIFICACIÓN DE LA COSECHA	EXCELENTE	MUY BUENA	MUY BUENA	MUY BUENA	MUY BUENA	EXCELENTE	MUY BUENA	EXCELENTE	EXCELENTE	

1.6. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo consiste en analizar los posibles efectos del cambio climático sobre la viticultura en la Denominación de Origen Ribeiro, mediante el estudio de la evolución pasada y futura de las variables climáticas más relevantes para el cultivo de la vid, especialmente la temperatura y la precipitación, y su impacto sobre distintos índices bioclimáticos.

Para alcanzar este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la evolución histórica de las variables climáticas de temperatura y precipitación en el área de la Denominación de Origen Ribeiro, a partir de datos climáticos observados.
- Evaluar la evolución futura de dichas variables climáticas mediante el uso de proyecciones procedentes de modelos climáticos, bajo distintos escenarios socioeconómicos definidos por los SSP del IPCC.
- Calcular y analizar diversos índices bioclimáticos relevantes para la viticultura, como los índices de Winkler y Huglin, a partir de datos climáticos históricos y proyecciones futuras.
- Comparar los valores históricos y futuros de los índices bioclimáticos con el fin de identificar posibles cambios en la idoneidad climática de la región para el cultivo de la vid.
- Evaluar las posibles implicaciones de los cambios climáticos proyectados sobre la productividad, la calidad de las cosechas y la sostenibilidad del sector vitivinícola en la Denominación de Origen Ribeiro.

2. Datos y metodología

2.1. Bases de datos

Para la obtención y el tratamiento de los datos empleados en este estudio se han utilizado distintas bases de datos meteorológicas y climáticas, con el objetivo de cubrir tanto el periodo histórico como las proyecciones futuras. En particular, se emplean datos meteorológicos observados junto con simulaciones procedentes de un modelo climático de alta resolución con una doble finalidad: por un lado, evaluar y validar el rendimiento del modelo climático utilizado y, por otro, obtener proyecciones futuras de alta fidelidad de las variables que definen los principales índices bioclimáticos considerados.

Las variables climáticas analizadas en este trabajo son la precipitación y la temperatura media, máxima y mínima diarias. A continuación, se describen las fuentes de información empleadas para la obtención de dichas variables.

2.1.1. *Meteogalicia*

MeteoGalicia es la Agencia Meteorológica de la Xunta de Galicia, responsable de la observación, predicción y vigilancia de las condiciones meteorológicas en la Comunidad Autónoma de Galicia. Su actividad incluye la gestión de una extensa red de estaciones meteorológicas, proporcionando una gran cantidad de medición de datos.

En este estudio se han utilizado los datos de la estación EVEGA (Estación de Viticultura e Enología de Galicia) ubicada en el ayuntamiento de Leiro, situada en la provincia de Ourense, en la Comarca de O Ribeiro. La elección de esta estación se debe a que se localiza dentro del principal sector vitivinícola de la zona de estudio, siendo además la estación de referencia para el sector en Galicia. Esta estación proporciona datos cada diez minutos, desde 2011 hasta la actualidad, de las variables objeto de estudio.

Los datos están disponibles de forma libre en el siguiente enlace: <https://www.meteogalicia.gal/web/observacion/rede-meteorologica?idEstacion=19026>

2.1.2. *Iberia01*

Dado que los datos observados de MeteoGalicia en la zona de estudio solo están disponibles a partir del año 2011, y teniendo en cuenta que los del modelo climático utilizado finalizan su periodo histórico en 2014, fue necesario recurrir a una fuente adicional para disponer de una serie temporal histórica suficientemente larga para hacer comparaciones y validaciones con el modelo climático. Para ello, se empleó la base de datos Iberia01, que proporciona valores diarios de precipitación y temperatura en una malla regular con una resolución espacial aproximada de 10 km para toda la Península Ibérica. La base de datos Iberia01 fue generada mediante técnicas de interpolación a partir de observaciones procedentes de una extensa red de estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo de toda la Península Ibérica (Herrera et al., 2019). Al estar construida a partir de datos reales medidos, presenta una elevada fiabilidad tanto de

valores medios como extremos, lo que ha motivado su uso en numerosos estudios climáticos previos (Herrera et al., 2020; Pascoa et al., 2021; Soares y Lima, 2022; Fernández-Nóvoa et al., 2025).

Los datos están disponibles libremente en el siguiente repositorio: <https://digital.csic.es/handle/10261/183071>.

2.1.3. Modelo climático de alta resolución

Los modelos climáticos globales (GCMs) conforman la herramienta más avanzada disponible para el establecimiento de las proyecciones climáticas futuras, destacando especialmente aquellos elaborados en el marco del proyecto CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) (IPCC, 2022). Si bien estos modelos representan de forma coherente la física de los principales componentes y procesos del sistema climático a gran escala, presentan limitaciones cuando se aplican a escalas regionales o locales, debido a su resolución espacial, generalmente del orden de 50-100 kilómetros, que no permite capturar y reflejar adecuadamente la dinámica climática local (Rummukainen, 2010; Soares et al., 2012). Para superar estas limitaciones, se recurre al uso de modelos climáticos regionales (RCMs), que parten de las simulaciones de los GCMs y operan a resoluciones mucho más altas, del orden de los 10 km, lo que permite una representación más realista de los mecanismos regionales (Soares et al., 2017; Cardoso et al., 2019; Fernández-Nóvoa et al., 2022).

En este estudio, los datos históricos y las proyecciones futuras de precipitación y temperatura se han obtenido mediante un enfoque de escalado dinámico, utilizando el modelo climático regional WRF-ARW versión 4.3.3 (Skamarock et al., 2021), forzado con datos procedentes del proyecto CMIP6. De este modo, se obtuvieron las variables necesarias con una resolución espacial aproximada de 10 km para el área de estudio. En particular, las condiciones iniciales y de contorno se tomaron del trabajo de Xu et al. (2021), donde se consideró un conjunto multimodelo formado por 18 GCMs del CMIP6 para analizar las tendencias climáticas a largo plazo y reducir la incertidumbre asociada a modelos individuales, mientras que se utilizó el modelo MPI-ESM1-HR para preservar la variabilidad climática interna. El proceso detallado de esta bajada de escala se describe en los trabajos de Thomas et al. (2024) y Fernández-Nóvoa et al. (2025). Es importante señalar que en este último trabajo se validaron tanto la precipitación como la temperatura en la zona de la cuenca hidrográfica del Tajo, mostrando la fiabilidad de las simulaciones realizadas con el modelo regional WRF en la Península Ibérica.

Gracias a estas simulaciones se obtuvieron proyecciones climáticas para el período 2020-2100 bajo el escenario intermedio de emisión de gases de efecto invernadero SSP2-4.5 y el escenario de altas emisiones SSP5-8.5, con una resolución espacial de 10 kilómetros. También se obtuvieron los datos climáticos para el período 1985-2014, que se tomará como referencia para analizar los cambios futuros respecto a este período histórico.

2.2. Metodología

2.2.1. Índices bioclimáticos

Para estudiar lo adecuadas que son las condiciones climáticas a las vides e intentar predecir su comportamiento a lo largo de los años y circunstancias se utilizaron varios índices bioclimáticos como son el índice de Winkler (WI), el índice de Huglin (HI), el *cool night index* (CI), el *growing season suitability index* (GSS), el *hydrothermic index of Branas, Bernon and Levadoux* (BBLI) y el *growing season precipitation index* (GSP). De estos seis índices, los cuatro primeros utilizan datos de temperatura, mientras que los dos últimos se centran en la precipitación. La definición de los mismo está fundamentada en lo indicado en el trabajo de Piña-Rey et al. (2020).

En el *índice de Winkler* (WI) se utiliza la suma de las temperaturas mínimas y máximas diarias desde el 1 de abril hasta el 31 de octubre y le resta una temperatura base; en este caso se utiliza 10°C como la temperatura base ya que es el umbral fisiológico activo de la vid para poder iniciar su ciclo de crecimiento. Gracias a este índice obtenemos información de la acumulación de calor durante la temporada de crecimiento de la vid.

$$\text{Índice de Winkler: } \sum_{1 \text{ abril}}^{31 \text{ octubre}} \frac{(T \text{ máx} + T \text{ mín})}{2} - 10$$

(*T máx*, *T mín*: temperatura máxima y mínima en °C)

El *índice de Huglin* (HI) se obtuvo sumando las temperaturas medias y máximas por encima de 10°C entre el 1 de abril y el 30 de septiembre. Se tuvo en cuenta un coeficiente asociado a la duración media de los días, que para las latitudes de entre 40° y 50° varía entre 1,02 y 1,06, utilizando 1,03 en nuestro caso. Este índice está relacionado con el crecimiento de la vid y la concentración de azúcar presente en los frutos, en una relación directamente proporcional.

$$\text{Índice de Huglin: } \sum_{1 \text{ abril}}^{30 \text{ septiembre}} \left[\frac{(T \text{ media} - 10) + (T \text{ máx} - 10)}{2} \right] * d$$

(*T media*: temperatura media en °C. *d*: coeficiente asociado a la duración media de los días en latitudes de entre 40 y 50°.)

El *cool night index* (CI) representa la media de las temperaturas mínimas nocturnas durante el periodo de maduración, que se corresponde con el mes de septiembre en el hemisferio norte. El objetivo de este índice es mejorar la evaluación del potencial cualitativo de las regiones vitícolas, especialmente en relación con los metabolitos secundarios de la uva (compuestos químicos que la planta no produce para crecer), responsables del color y de los aromas de la uva y del vino, ya que con un mayor CI se produce una mayor degradación de estos metabolitos secundarios.

$$\text{Cool night index (índice de noche fría): } CI = \sum T \text{ mín septiembre}$$

El *growing season suitability index* (GSS) es el porcentaje de días desde el 1 de agosto hasta el 30 de septiembre en los que la temperatura media es mayor de 10°C. Este índice

mide la continuidad térmica durante la maduración; un porcentaje elevado indica un clima estable que permite a la uva completar su ciclo sin parones vegetativos por frío.

Growing Season Suitability (GSS): % días donde $T_{media} > 10^{\circ}\text{C}$

El *growing season precipitation index* (GSP) es la suma de las precipitaciones acumuladas en el periodo comprendido entre el 1 de abril y el 30 de septiembre; mediante este índice se puede evaluar la lluvia que ha caído en el periodo en el que la vid está activa, lo que puede afectar la disponibilidad hídrica, ya que si este índice es muy bajo puede llegar a detenerse el crecimiento; además permite analizar la posible influencia de las precipitaciones en el crecimiento de la vid.

Growing Season Precipitation Index (GSP): $\sum_{1\text{ abril}}^{30\text{ septiembre}} P$

(P : precipitación mensual acumulada).

El *hydrothermic index of Branas, Bernon and Levadoux* (BBLI) se obtiene con el producto mensual de temperatura media y precipitación registradas entre el 1 de abril y el 31 de agosto. Este índice posee un umbral que mide las posibilidades de que la vid sufra ataques de mildiu. Si el valor del índice está por debajo de 2500, la probabilidad de un ataque de mildiu es casi nula, mientras que un valor superior a 5100 una alta probabilidad de ataque de mildiu ([Almendro Trigueros, 2013](#)).

Hydrothermic index of Branas, Bernon and Levadoux (BBLI): $\sum_{1\text{ abril}}^{31\text{ agosto}} T_{media} * P$

2.2.2. Corrección de sesgos

Estudios previos han demostrado que los modelos climáticos pueden tener presentes desviaciones sistemáticas respecto a los datos observados, por lo que primeramente se identificaron estas posibles desviaciones, corrigiendo las mismas. Así, con el fin de minimizar los sesgos que pudiera haber, se aplicó un procedimiento de corrección de sesgos basado en el enfoque de ajuste por cuantiles (*quantile mapping*), siguiendo la metodología descrita por [Costoya et al. \(2020\)](#). Esta técnica consiste en ajustar la distribución estadística de las variables simuladas por el modelo para que coincida con la distribución observada, preservando al mismo tiempo la variabilidad climática y mejorando la representación tanto de los valores medios como de los extremos.

La aplicación de esta corrección de sesgos permite obtener simulaciones climáticas más coherentes con las observaciones, reduciendo las incertidumbres asociadas al uso de modelos climáticos y aumentando la fiabilidad de las proyecciones futuras empleadas en el análisis de los índices bioclimáticos.

2.2.3. Validación de las variables simuladas

Con el propósito de conocer la fiabilidad de los datos de las proyecciones futuras obtenidos a través del proceso de downscaling con el modelo atmosférico WRF se llevó a cabo una comparación de los datos de precipitación y temperatura de las salidas de las simulaciones con datos observados. En particular, se llevó a cabo la comparación y validación con datos provenientes de la base de datos Iberia01. A su vez, también se compararon los datos de la base Iberia01 para el píxel correspondiente con los medidos por la estación de MeteoGalicia ubicada en Leiro, con el fin de evaluar también la eficacia de Iberia01 en el área de estudio.

Dado que el período histórico simulado proporciona datos climáticos, es decir, no se ajustan al tiempo real de cada día, la métrica que se utilizó fue un test de solapamiento, ya que permite comparar toda la distribución de datos disponible independientemente de lo que ocurra cada día individualmente. El método aplicado consiste en dividir las series de datos observados y simulados en intervalos de valores (*bins*), definidos en función de la variable analizada. En el caso de las variables térmicas (temperatura mínima, máxima y media), se utilizaron intervalos de 1 °C, mientras que para la precipitación se emplearon intervalos de 0,5 mm, dada la diferente naturaleza y variabilidad de esta variable.

Una vez establecida la distribución por intervalos, se calcula la frecuencia relativa de aparición de los valores observados y modelados dentro de cada intervalo. Para cada intervalo se selecciona el menor de los dos valores (observado o simulado), de forma que únicamente se considera la parte común de ambas distribuciones. Posteriormente, se suman estos valores mínimos correspondientes a todos los intervalos y el resultado se multiplica por 100, obteniéndose así un porcentaje que representa el grado de solapamiento entre ambas series.

Este porcentaje de solapamiento constituye un indicador cuantitativo del nivel de concordancia entre los datos simulados y los observados. Valores cercanos al 100 % indican una elevada similitud entre ambas distribuciones, mientras que porcentajes más bajos reflejan mayores discrepancias. De este modo, la metodología permite evaluar de manera robusta la capacidad del modelo para reproducir no solo los valores medios, sino también la distribución completa de las variables climáticas analizadas.

Una vez validadas las variables modeladas, se corroborará si, mediante su utilización, los índices bioclimáticos son también reproducidos de forma adecuada.

2.2.4. Cálculo de las variaciones futuras

Se calcularon las variaciones futuras de los índices bioclimáticos a partir de las proyecciones climáticas disponibles para el período 2020-2099. Para ello, se analizaron los cambios esperados en dichos índices bajo diferentes escenarios climáticos futuros, con el fin de estudiar su evolución temporal y su posible impacto sobre las condiciones bioclimáticas. El estudio presta especial atención a la comparación entre dos escenarios

temporales diferenciados: el futuro cercano (2030-2059) y el futuro lejano (2070-2099), lo que permite identificar no solo la magnitud de las variaciones, sino también la posible intensificación o modificación de las tendencias a lo largo del siglo XXI. Asimismo, se lleva a cabo un análisis comparativo entre el escenario intermedio SSP2-4.5 y el escenario extremo SSP5-8.5, con el objetivo de examinar cómo diferentes niveles de forzamiento radiativo influyen en la evolución de los índices bioclimáticos. Este enfoque permite evaluar la sensibilidad de dichos índices ante distintos contextos climáticos, así como detectar posibles cambios significativos en la frecuencia, intensidad y distribución de condiciones bioclimáticas relevantes.

3. Resultados y discusión

3.1. Comparación Meteogalicia-Iberia01

Como primer paso del proceso de análisis de la calidad de los datos usados en este trabajo, lo que se hizo fue comparar los datos proporcionados por la base de Iberia01 en el punto de la malla correspondiente a la localización de la estación meteorológica de EVEGA de MeteoGalicia, con los datos medidos por la propia estación. Para realizar esta evaluación se consideró el periodo 2012-2015, que es común a ambas fuentes de datos. La comparativa realizada se muestra en la Figura 7. Analizando dicha figura, se puede observar una gran similitud entre los datos de ambas fuentes, cuya variabilidad anual sigue un patrón muy similar, con valores muy próximos entre ambas cada mes. La única diferencia destacable se encuentra en la temperatura máxima, donde, aunque el patrón es similar, Iberia01 presenta una ligera subestimación de los valores. Estos resultados se corroboran también al analizar el grado de solapamiento entre las series de las variables analizadas, junto con la diferencia entre las medias obtenidas (Tabla 2). Todas las variables presentan un grado de solapamiento en el entorno de 90, un valor que confirma la similitud de Iberia01 al reproducir los datos reales de la zona (Soares and Cardoso, 2018; Des et al., 2021; Fernández-Nóvoa et al., 2025). Únicamente la temperatura máxima presenta un grado de solapamiento ligeramente inferior, aunque con un valor que también indica una alta correlación en los datos (~ 87). La diferencia entre las medias, obtenida al restar la media de Iberia01 menos la media de Meteogalicia, dividiendo ese resultado entre la media de Meteogalicia, y finalmente, multiplicando ese valor por cien para obtener el porcentaje, confirma la tendencia anteriormente comentada. Así, la diferencia de las medias para las variables de temperatura media y mínima, en términos absolutos, es inferior al 1%, para la precipitación alrededor del 3% y la temperatura máxima sobre el 7%. A tenor de estos resultados, a pesar de que la temperatura máxima está ligeramente peor representada por Iberia01, los valores obtenidos en la comparación realizada permiten afirmar que la reproducibilidad de las variables es lo suficientemente buena para utilizar los datos de Iberia01 como base en el desarrollo siguiente del trabajo.

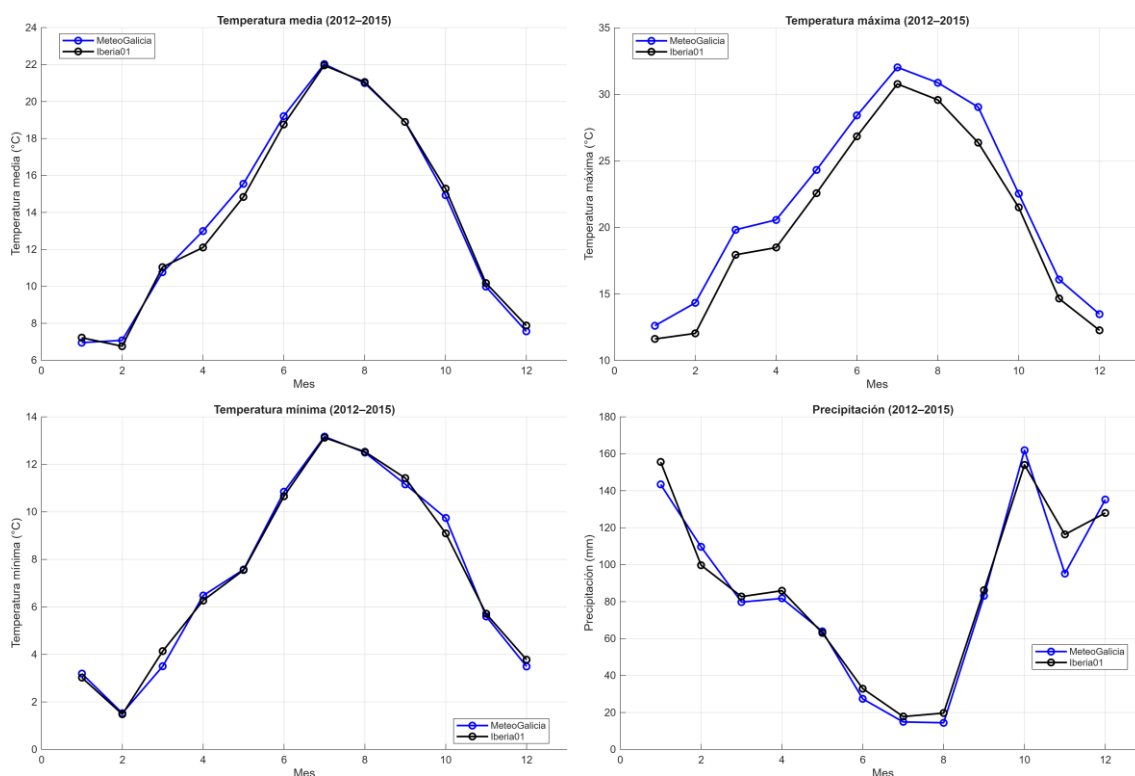


Figura 7. Climogramas comparativos de Meteogalicia e Iberia01 para las variables de Temperatura media, Temperatura máxima, Temperatura mínima y Precipitación.

Tabla 2. Comparación de los valores de solapamiento y diferencia de las medias entre la estación EVEGA de Leiro de Meteogalicia y el punto correspondiente a su localización de Iberia01. La diferencia de las medias se realizó a través de la siguiente fórmula: $Diferencia\ medias = 100x \frac{Media\ Iberia01 - Media\ Meteogalicia}{Media\ Meteogalicia}$

	Valor de solapamiento	Media Meteogalicia	Media Iberia01	Diferencia entre las medias (%)
T media	89,32	13,96	13,87	-0,64
T máxima	86,52	22,09	20,44	-7,47
T mínima	90,62	7,43	7,44	0,01
Precipitación	89,12	2,77	2,85	2,89

3.2. Comparación WRF-Iberia01

Una vez analizada la fiabilidad de los datos de la base Iberia01, se llevó a cabo una comparación con los datos simulados con el modelo WRF para el periodo 1985-2014 (Figura 8). En esta comparación se tuvieron en cuenta los datos crudos simulados para las cuatro variables, pero también los datos corregidos aplicando la metodología de corrección de sesgo que se describe en la sección 2.2.2. Analizando la Figura 8 se puede observar como en general la comparativa entre Iberia01 y WRF es buena, especialmente cuando se aplica la corrección de sesgos. Gracias a este procedimiento se puede corregir un sesgo sistemático existente en los datos de temperatura simulados de WRF, que subestimaba la temperatura media y mínima y sobreestimaba la máxima. En cuanto a la precipitación, se observa como los valores simulados de WRF presentan un sesgo

generalizado de subestimación de la lluvia existente. Una vez aplicada la corrección de sesgo resultan unos valores más acordes a los proporcionados por la base de datos de Iberia01.

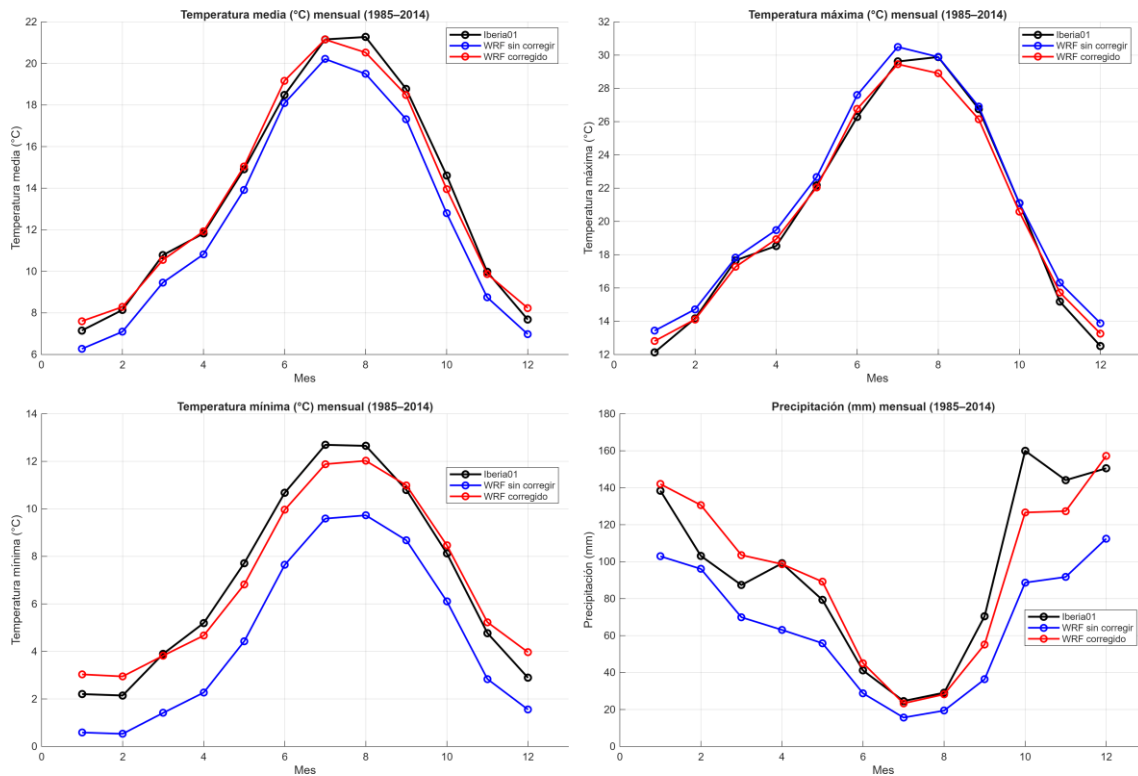


Figura 8. Climogramas comparativos de la base de datos Iberia01 y el modelo WRF para las variables consideradas en el estudio durante el período 1985-2014, teniendo en cuenta tanto los datos brutos proporcionados por el modelo, como los datos obtenidos después de aplicarle el proceso de corrección de sesgo.

3.3. Validación de los índices vitivinícolas modelados

Una vez corroborado que las variables modeladas representan adecuadamente la realidad de la zona, se comprobó que dichas variables son capaces de representar adecuadamente los índices bioclimáticos utilizados. En la Tabla 3 se muestran los valores medios de los índices utilizados, tanto para Iberia01 como para WRF, para el período común 1985-2014. Se puede observar como todos los índices muestran valores muy similares para ambas fuentes de datos, lo que corrobora la fiabilidad y robustez del modelo climático utilizado para analizar las proyecciones futuras de dichos índices.

Tabla 3. Valores medios de los índices bioclimáticos utilizados obtenidos de Iberia01 y WRF para el período común 1985-2014.

Índice	<i>WI</i>	<i>HI</i>	<i>CI</i>	<i>GSS</i>	<i>BBLI</i>	<i>GSP</i>
Base de datos						
<i>Iberia 01</i>	1584,6	2008,1	10,8	100,0	4154,5	343,7
<i>WRF</i>	1521,3	2190,3	10,9	99,9	4374,5	339,7

3.4. Impacto del cambio climático sobre los índices vitivinícolas

Una vez demostrada la capacidad del modelo climático para reproducir tanto las variables climáticas como los índices bioclimáticos obtenidos a partir de ellas, se analizó la evolución de dichos índices hasta finales de siglo bajo diferentes condiciones climáticas futuras.

En el escenario SSP2-4.5, se espera que en la zona de Leiro se produzca una tendencia hacia unas condiciones climáticas más cálidas. Esto se refleja en los gráficos mostrados en la Figura 9 que indican, particularmente analizando los índices de Winkler y Huglin, una leve tendencia ascendente. Este incremento conllevaría hacia una aceleración en los procesos de maduración de la uva, dando lugar a vendimias más tempranas y a vinos con mayor graduación alcohólica y menor acidez. También se observan noches ligeramente más cálidas al analizar el Cool Night Index, lo que podría afectar a la síntesis de compuestos aromáticos de la uva y, por tanto, al potencial aromático de los vinos. Se aprecia asimismo una ligera disminución, con una alta variabilidad interanual, tanto en el índice BBLI como en el GSP, lo que indica una disminución en la precipitación de la zona, lo que podría reducir la incidencia de enfermedades como el mildiu, debido a la menor humedad ambiental y al menor tiempo de mojado foliar. Sin embargo, esta disminución de la precipitación también podría incrementar el riesgo de estrés hídrico de la vid, afectando su rendimiento y la calidad de la uva. Por otro lado, se mantiene una relativa estabilidad del índice GSS, lo que indica que las condiciones continúan siendo idóneas para el crecimiento de la vid.

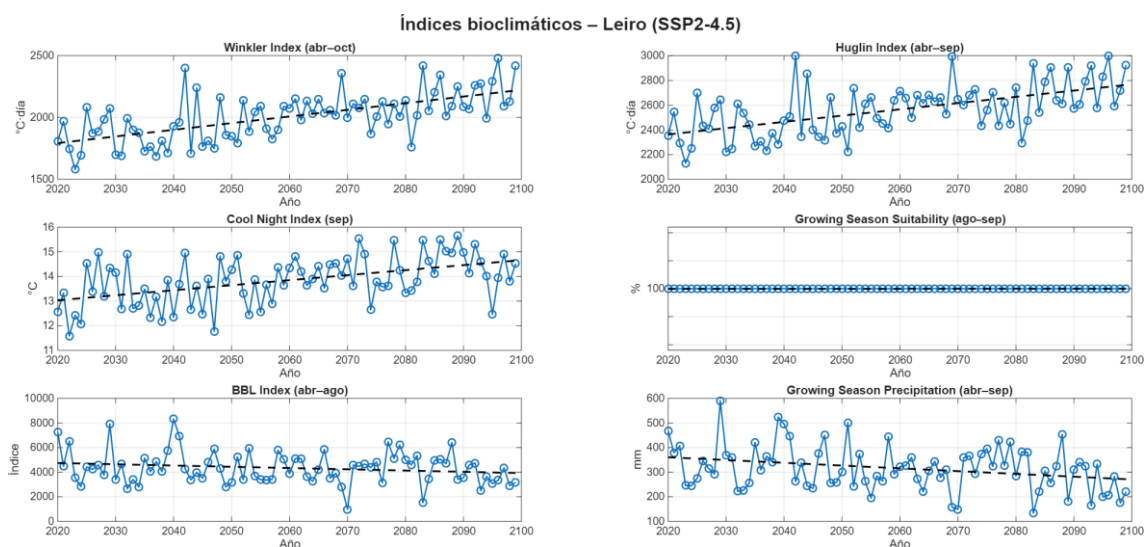


Figura 9. Gráficos de los 6 índices bioclimáticos analizados para el período 2020-2100 considerando el SSP2-4.5.

En la Tabla 4 se muestra el incremento porcentual de los índices analizados para el escenario SSP2-4.5, tanto para un futuro cercano (2030-2059) como para un futuro lejano (2070-2099). En general, los cambios entre el periodo histórico y los periodos futuros corroboran la tendencia hacia condiciones más cálidas. Los índices térmicos presentan un aumento consistente, aunque relativamente moderado, siendo mayor en el futuro lejano. El índice de Winkler muestra el mayor incremento, pudiendo alcanzar valores cercanos al 40% en el futuro lejano, mientras que el Cool Night Index aumentaría alrededor de un 30% y el índice de Huglin presentaría incrementos más moderados, en torno al 20%, hacia finales de siglo.

En cuanto a los índices relacionados con la precipitación, se observa un descenso moderado en el futuro lejano, mientras que en el futuro cercano los cambios son poco significativos. El descenso en el índice BBLI indicaría un ligero aumento del riesgo de estrés hídrico, aunque sin llegar a representar un problema generalizado en la zona. Por su parte, el GSP mostraría un descenso mayor, cercano al 12% en el futuro lejano, lo que se traduciría en una disminución moderada de la precipitación durante el periodo de crecimiento de la vid.

En conjunto, los datos de la tabla confirman cuantitativamente la tendencia observada en los gráficos, mostrando un aumento moderado de las condiciones térmicas y una ligera disminución de la precipitación, especialmente en el futuro lejano. Además, cabe resaltar que se observa que los cambios son más acusados en el futuro lejano que en el futuro cercano, lo que indica que la intensificación de las condiciones más cálidas y la disminución de la precipitación se acentuarán a medida que avance el siglo. Esto sugiere que los efectos del cambio climático en la viticultura de la zona serán más notables hacia finales de siglo que en las próximas décadas.

Tabla 4. Cambios porcentuales de los índices bioclimáticos entre el periodo histórico y el futuro cercano (2030-2059) y futuro lejano (2070-2099) bajo el escenario SSP2-4.5.

Índices	Variación (%)	
	Futuro cercano SSP2-4.5	Futuro lejano SSP2-4.5
WI	24,802	39,739
HI	12,442	22,102
CI	21,971	30,619
GSS	0,055	0,055
BBLI	0,033	-4,646
GSP	-2,724	-12,487

En el escenario SSP5-8.5, se espera una tendencia hacia un clima significativamente más cálido. Así, los gráficos que muestran la evolución de los índices vitivinícolas para este escenario (Figura 10), indican una tendencia ascendente muy marcada de los índices de Winkler y Huglin, lo que podría provocar una sobremaduración de la uva y obligar a un adelanto sistemático de la vendimia. Esto se traduciría en vinos con bastante mayor graduación alcohólica y menor acidez, así como en un posible desequilibrio en la maduración fenólica y tecnológica. Al analizar el índice de Cool Night Index, se observa un aumento notable de las temperaturas nocturnas, lo que indicaría una disminución del potencial aromático de la uva y, por tanto, una reducción de la calidad enológica de los vinos de la zona. Resulta también muy relevante el descenso observado en los índices BBLI y GSP, que muestran una disminución sostenida de la precipitación, lo que aumentaría de forma significativa el riesgo de estrés hídrico de la vid. No obstante, esta disminución de la precipitación también podría tener efectos positivos desde el punto de vista fitosanitario, ya que unas condiciones más secas reducirían la incidencia de enfermedades fúngicas como el mildiu. Por otro lado, el índice GSS se mantiene relativamente estable, lo que indica que, a pesar del aumento de las temperaturas y la disminución de la precipitación, las condiciones generales seguirían siendo adecuadas para el crecimiento de la vid. Sin embargo, las nuevas condiciones climáticas podrían modificar el ciclo vegetativo, las fechas de vendimia y las características finales de la uva.

Considerando conjuntamente todos estos factores, se observa un cambio importante hacia un clima más cálido y seco, lo que podría provocar modificaciones en el manejo del viñedo, en las fechas de vendimia e incluso en las variedades de vid cultivadas en la región.

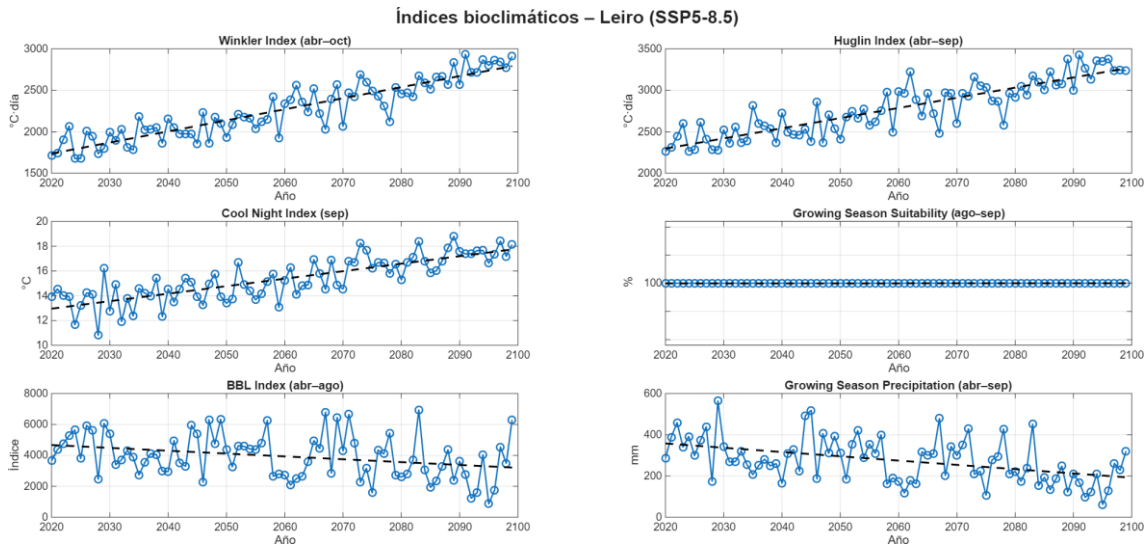


Figura 10. Gráficos de los 6 índices bioclimáticos analizados para el período 2020-2100 considerando el SSP5-8.5.

En la Tabla 5 se muestra el incremento porcentual de los índices analizados para el escenario SSP5-8.5, tanto para un futuro cercano (2030-2059) como para un futuro lejano (2070-2099). Analizando dicha tabla se concluye que los cambios proyectados en todos los índices son elevados, tanto en el futuro cercano como en el futuro lejano. En los índices térmicos se aprecia un aumento importante ya en el futuro cercano, donde el índice de Winkler prácticamente iguala el incremento proyectado para el futuro lejano en el escenario SSP2-4.5. En el futuro lejano, los incrementos son aún mayores, superando el 50% tanto el índice de Winkler como el Cool Night Index, mientras que el índice de Huglin alcanzaría incrementos cercanos al 40%. Esto confirma un aumento muy acusado de las condiciones térmicas en la zona de estudio. En los índices relacionados con la precipitación también se observan descensos importantes. Ya en el futuro cercano se registran disminuciones significativas, como el descenso del GSP en torno al 11%. En el futuro lejano, los descensos son aún mayores, disminuyendo en más de un 20% el BBLI y en más de un 30% el GSP, indicando una reducción notable de la precipitación y un aumento del riesgo de estrés hídrico estructural en la vid.

En general, los resultados muestran que el escenario SSP5-8.5 implica cambios climáticos mucho más acusados, especialmente hacia finales de siglo, con un aumento muy significativo de las temperaturas y una disminución notable de la precipitación, lo que podría afectar de forma importante a la viticultura de la región.

Tabla 5. Cambios porcentuales (%) de los índices bioclimáticos entre el periodo histórico y el futuro cercano (2030-2059) y futuro lejano (2070-2099) bajo el escenario SSP5-8.5.

Índices	Variación (%)	
	Futuro cercano SSP5-8.5	Futuro lejano SSP5-8.5
WI	34,199	70,88
HI	17,642	40,884
CI	29,213	54,908
GSS	0,055	0,055
BBLI	-4,0762	-21,608
GSP	-11,576	-33,699

En la comparación entre los escenarios SSP2-4.5 y SSP5-8.5 se observa que ambos muestran una tendencia hacia condiciones más cálidas y secas en la zona de estudio, aunque con una magnitud muy diferente. Mientras que en el escenario SSP2-4.5 los cambios son moderados y progresivos, en el escenario SSP5-8.5 los cambios son mucho más acusados, especialmente hacia finales de siglo. El aumento de los índices térmicos y la disminución de los índices de precipitación en este último escenario indican un cambio climático más extremo, que podría afectar de forma significativa al desarrollo de la vid, al rendimiento del viñedo y a las características finales de los vinos. Por tanto, la evolución futura de la viticultura en la región dependerá en gran medida del escenario climático que se materialice a lo largo del siglo XXI.

Finalmente, comparando los resultados obtenidos en este estudio con trabajos anteriores centrados también sobre la Denominación de Origen Ribeiro, se puede observar que las tendencias identificadas en este estudio son coherentes con las previamente descritas por Piña-Rey et al. (2020). Además, cabe destacar que los valores medios de los índices bioclimáticos calculados a partir de bases de datos distintas basadas en observaciones presentan una elevada concordancia entre ambos trabajos, lo que refuerza la consistencia y fiabilidad de los resultados obtenidos. En dicho trabajo, se utilizaron como referencia datos observados para el período 2000-2015, así como datos obtenidos de la base Spain02, que cubre el período 1951-2015, con el objetivo de analizar la evolución climática a más largo plazo. Esta base proporciona una malla de datos para España y Baleares, con una resolución aproximada de 20 km, generada mediante la interpolación de los datos de estaciones meteorológicas.

A partir del análisis comparativo, y de tendencias, realizado en ese estudio previo, tanto para el período observacional como para el conjunto completo de la base (1951–2015), ya se evidenciaba una tendencia significativa al incremento de los índices bioclimáticos asociados a la temperatura, junto con ligeras tendencias negativas en los índices relacionados con la precipitación en la zona de O Ribeiro. Esta evolución histórica se prolonga en las proyecciones futuras analizadas por Piña-Rey et al. (2020), donde se prevén cambios adicionales de los índices bioclimáticos especialmente en los escenarios más extremos. A pesar de que dicho trabajo se basa en escenarios climáticos procedentes de modelos regionales de EURO-CORDEX, a su vez obtenidos de modelos globales del CMIP5, frente a los escenarios más recientes del CMIP6 utilizados en este

estudio, ambos coinciden en proyectar un aumento significativo de los índices térmicos y una tendencia general hacia la disminución de los índices asociados a la precipitación a finales de siglo.

Estos resultados son consistentes con los obtenidos en el presente trabajo, en el que, a partir de los escenarios actuales SSP2-4.5 y SSP5-8.5, se observa una intensificación de los índices térmicos, junto con una reducción progresiva de los índices relacionados con la precipitación, especialmente en el escenario de altas emisiones y a medida que avanza el siglo. De este modo, ambos estudios muestran una notable coherencia en la evolución temporal del sistema climático, evidenciando no solo un aumento de la temperatura, sino también una posible intensificación de las condiciones de sequedad en la región.

En conjunto, esta continuidad entre pasado, presente y futuro refuerza la robustez de los resultados y pone de manifiesto que el cambio observado responde a una tendencia estructural del sistema climático regional, y no a variaciones puntuales.

Asimismo, en ambos trabajos se identifican implicaciones similares para la viticultura, como el incremento de la acumulación térmica, el adelanto de las fases fenológicas y cambios en la maduración de la uva, lo que podría derivar en modificaciones en la composición y calidad del vino. A ello se suma el posible aumento del estrés hídrico derivado de la disminución de la precipitación, lo que podría afectar tanto al rendimiento como a la calidad de las cosechas. En este sentido, los resultados obtenidos confirman que la Denominación de Origen Ribeiro se encamina hacia condiciones climáticas progresivamente más cálidas y, en algunos casos, más secas, lo que plantea nuevos retos para la adaptación del sector vitivinícola en las próximas décadas.

4. Conclusiones

El presente trabajo ha permitido analizar la evolución futura de los principales índices bioclimáticos vitícolas en la Denominación de Origen Ribeiro, evidenciando una tendencia clara hacia condiciones climáticas progresivamente más cálidas y, en determinados escenarios, más secas. A partir de las proyecciones climáticas de alta resolución del modelo regional WRF, procesadas a partir de modelos climáticos del CIMP6, corregidas mediante técnicas de ajuste por cuantiles y validadas frente a datos observacionales, se han identificado una serie de cambios relevantes para la viticultura de la región:

- **Alteración del régimen térmico:** Se confirma un incremento progresivo y generalizado de las temperaturas en todos los escenarios analizados, reflejado en el aumento de los índices de Winkler y Huglin. Este incremento de la acumulación térmica favorecerá una aceleración del ciclo fenológico de la vid, con un previsible adelanto de la vendimia y una maduración más rápida de la uva. Como consecuencia, podrían producirse aumentos en el grado alcohólico de los vinos, junto con una reducción de su acidez, lo que supondría una alteración de su perfil organoléptico tradicional de los vinos del Ribeiro.
- **Vulnerabilidad del potencial aromático:** El incremento del *Cool Night Index* (CI) indica una tendencia hacia noches menos frescas durante el periodo de maduración. Este cambio puede afectar negativamente a la síntesis y conservación de compuestos aromáticos y fenólicos en la uva, comprometiendo especialmente el carácter varietal de las variedades autóctonas del Ribeiro.
- **Cambios en la disponibilidad hídrica:** Las proyecciones apuntan a una disminución general de la precipitación, más acusada en el escenario SSP5-8.5 y en el horizonte temporal lejano. Esta tendencia se refleja en la reducción de índices como el GSP y el BBLI. Aunque este descenso podría conllevar una menor presión de enfermedades fúngicas como el mildiu, el balance global sugiere un aumento del riesgo de estrés hídrico, con posibles efectos negativos sobre el rendimiento y desarrollo del viñedo.
- **Condiciones de adecuación térmica:** El índice de *Growing Season Suitability* (GSS) muestra una tendencia a mantenerse prácticamente estable en los escenarios analizados, indicando que el porcentaje de días con temperaturas adecuadas para el desarrollo de la vid durante el periodo de crecimiento no experimenta cambios significativos. Este resultado sugiere que, a pesar del incremento general de las temperaturas, la región continuará presentando condiciones térmicas favorables para el cultivo de la vid. No obstante, esta estabilidad no implica la ausencia de impactos, ya que el aumento térmico puede alterar otros aspectos del desarrollo fenológico y de la calidad de la uva.

Cabe destacar que la metodología empleada, basada en la combinación de datos observacionales (MeteoGalicia), bases de datos interpoladas a partir de datos medidos (Iberia01) y simulaciones climáticas regionales (WRF), ha permitido obtener

proyecciones consistentes para la zona de estudio. El proceso de validación, basado en la comparación de distribuciones mediante un test de solapamiento, ha mostrado un alto grado de concordancia entre los datos simulados y los observados, lo que respalda la capacidad del modelo para reproducir adecuadamente las características climáticas del área de estudio. Asimismo, la aplicación de técnicas de corrección de sesgos ha contribuido a mejorar la representación de las variables climáticas.

En conjunto, los resultados ponen de manifiesto que el cambio climático tendrá un impacto sobre la viticultura en la Denominación de Origen Ribeiro. La combinación de un aumento térmico y una posible reducción de la disponibilidad hídrica podría modificar tanto la productividad como la calidad de las cosechas.

En este contexto, se hace necesaria la implementación de estrategias de adaptación en el manejo del viñedo, orientadas a mitigar los efectos del cambio climático. Entre ellas, podrían considerarse la inclusión de variedades más adaptadas a condiciones más cálidas y secas, la modificación de prácticas agronómicas o la optimización del uso del agua. Todo ello con el objetivo de preservar la tipicidad de los vinos, garantizar la viabilidad del sector y asegurar su sostenibilidad a largo plazo en un escenario de cambio climático.

Bibliografía:

- Almendo Trigueros, J. P. (2013). Índices climáticos propios de la vid en el sector central de Tierra de Barros. En *Actas de las IV Jornadas de Almendralejo y Tierra de Barros* (pp. 121–132). Asociación Histórica de Almendralejo.
- Cardoso, R. M., Soares, P. M., Lima, D. C., & Miranda, P. M. (2019). Mean and extreme temperatures in a warming climate: EURO CORDEX and WRF regional climate high-resolution projections for Portugal. *Climate Dynamics*, 52(1), 129-157.
- Climate Scenarios Primer. (s.f.). Socioeconomic Development: The Shared Socioeconomic Pathways. <https://climatescenarios.org/primer/socioeconomic-development/>.
- Comisión Europea. (s.f.). Causas del cambio climático. <https://climate.ec.europa.eu/climate-change/>.
- Consejo Regulador de la D.O. Monterrei. (s.f.). Denominación de Origen Monterrei. <https://www.domonterrei.wine>.
- Consejo Regulador de la D.O. Rías Baixas. (s.f.). Denominación de Origen Rías Baixas. <https://doriasbaixas.com/consejo-regulador-do-rias-baixas/>.
- Consejo Regulador de la D.O. Ribeira Sacra. (s.f.). Denominación de Origen Ribeira Sacra. <https://ribeirasacra.org>.
- Consejo Regulador de la D.O. Ribeiro. (s.f.). Página oficial de la Denominación de Origen Ribeiro. <https://www.ribeiro.wine/es/>.
- Costoya, X., Rocha, A., & Carvalho, D. (2020). Using bias-correction to improve future projections of offshore wind energy resource: A case study on the Iberian Peninsula. *Applied Energy*, 262, 114562.
- D.O. Rías Baixas. (s.f.). Cómo influye el clima en la vid y el vino. <https://doriasbaixas.com/como-influye-el-clima-en-la-vid-y-el-vino/>.
- Des, M., Fernández-Nóvoa, D., DeCastro, M., Gómez-Gesteira, J. L., Sousa, M. C., & Gómez-Gesteira, M. (2021). Modeling salinity drop in estuarine areas under extreme precipitation events within a context of climate change: effect on bivalve mortality in Galician Rías Baixas. *Science of the Total Environment*, 790, 148147.
- Federación Española del Vino. (s.f.). El sector en cifras. <https://www.fev.es/sector-cifras/>
- Fernández-Nóvoa, D., García-Feal, O., González-Cao, J., DeCastro, M., & Gómez-Gesteira, M. (2022). Multiscale flood risk assessment under climate change: the case of the Miño River in the city of Ourense, Spain. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 2022, 1-27.

- Fernández-Nóvoa, D., Soares, P. M., García-Feal, O., Costoya, X., Trigo, R. M., & Gómez-Gesteira, M. (2025). Neural network approach for modeling future natural river flows: Assessing climate change impacts on the Tagus River. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 58, 102191.
- Fundación Juana de Vega. (2023). Las DOP vitivinícolas de Galicia: Impacto en el PIB y el empleo directo. <https://juanadevega.org/es/las-dop-vitivincolas-de-galicia-aportan-el-19-del-pib-y-el-21-del-empleo-directo-de-sus-territorios/>
- Gimeno, L., Nieto, R., Gimeno-Sotelo, L., Sori, R., Vázquez, M., & Stojanovic, M. (2023). Learning and teaching meteorology through short answer questions. En *INTED2023 Proceedings* (pp. 7028). IATED Academy.
- Herrera, S., Cardoso, R. M., Soares, P. M., Espírito-Santo, F., Viterbo, P., & Gutiérrez, J. M. (2019). Iberia01: A new gridded dataset of daily precipitation and temperatures over Iberia. *Earth System Science Data*, 11(4), 1947-1956.
- Herrera, S., Soares, P. M., Cardoso, R. M., & Gutiérrez, J. M. (2020). Evaluation of the EURO-CORDEX regional climate models over the Iberian Peninsula: Observational uncertainty analysis. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(12), e2020JD032880.
- Interprofesional del Vino de España. (2024). Análisis del sector vitivinícola en Galicia. https://interprofesionaldelvino.es/wp-content/uploads/2024/03/Analisis-sector-vitivinicola_GAL_vf_.pdf
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report*. Cambridge University Press. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: AR6 Synthesis Report*. IPCC, Geneva, Switzerland. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>
- Jones, G. V., White, M. A., Cooper, O. R., & Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73(3), 319-343.
- Meteo Navarra. (s.f.). Diferencia entre tiempo y clima. Gobierno de Navarra. <https://meteo.navarra.es/definiciones/diferenciaTiempoClima.cfm>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). Guía resumida del Grupo de Trabajo I del IPCC: Bases físicas del cambio climático (AR6). https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/ipcc-guia-resumida-gt1-bases-fisicas-ar6_tcm30-533081.pdf.
- Naciones Unidas. (s.f.). ¿Qué es el cambio climático? <https://www.un.org/es/climatechange/science/causes-effects-climate-change>.
- Organización Interprofesional del Vino de España. (s.f.). Estadísticas: Información sectorial y de mercado. <https://estadisticas.interprofesionaldelvino.es/>.

- Páscoa, P., Russo, A., Gouveia, C. M., Soares, P. M., Cardoso, R. M., Careto, J. A., & Ribeiro, A. F. (2021). A high-resolution view of the recent drought trends over the Iberian Peninsula. *Weather and Climate Extremes*, 32, 100320.
- Piña-Rey, A., González-Fernández, E., Fernández-González, M., Lorenzo, M. N., & Rodríguez-Rajo, F. J. (2020). Climate Change Impacts Assessment on Wine-Growing Bioclimatic Transition Areas. *Applied Sciences*, 10(15), 5037.
- Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'Neill, B. C., Fujimori, S., ... & Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change*, 42, 153-168.
- Rummukainen, M. (2010). State-of-the-art with regional climate models. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 1(1), 82-96.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Liu, Z., Berner, J., ... & Huang, X. Y. (2021). A description of the advanced research WRF version 4. NCAR tech. note ncar/tn-556+ str, 145(10.5065).
- Soares, P. M., & Cardoso, R. M. (2018). A simple method to assess the added value using high-resolution climate distributions: application to the EURO-CORDEX daily precipitation. *International Journal of Climatology*, 38(3), 1484-1498.
- Soares, P. M., & Lima, D. C. (2022). Water scarcity down to earth surface in a Mediterranean climate: The extreme future of soil moisture in Portugal. *Journal of Hydrology*, 615, 128731.
- Soares, P. M., Cardoso, R. M., Lima, D. C., & Miranda, P. M. (2017). Future precipitation in Portugal: high-resolution projections using WRF model and EURO-CORDEX multi-model ensembles. *Climate Dynamics*, 49(7), 2503-2530.
- Soares, P. M., Cardoso, R. M., Miranda, P. M., de Medeiros, J., Belo-Pereira, M., & Espirito-Santo, F. (2012). WRF high resolution dynamical downscaling of ERA-Interim for Portugal. *Climate Dynamics*, 39(9), 2497-2522.
- Té y kriptonita. (2007). Denominación de Origen Ribeiro [Archivo SVG]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:DO_Ribeiro.svg.
- Thomas, B., Costoya, X., deCastro, M., Insua-Costa, D., Senande-Rivera, M., & Gómez-Gesteira, M. (2024). Downscaling CMIP6 climate projections to classify the future offshore wind energy resource. *Renewable Energy*, 221, 119818.
- Vinoselección. (2024). ¿Cómo afecta la lluvia al viñedo? <https://www.vinoseleccion.com/blog/vinos/como-afecta-lluvia-vinedo/>.
- Wines of Galicia. (s.f.). Vinos de Galicia: Variedades y territorios. <https://winesofgalicia.com/>.

Xu, Z., Han, Y., Tam, C. Y., Yang, Z. L., & Fu, C. (2021). Bias-corrected CMIP6 global dataset for dynamical downscaling of the historical and future climate (1979–2100). *Scientific Data*, 8(1), 293.