

CUARTA ÉPOCA

GEOGRAPHICALIA

1977 - 1988 - 2000 - 2023

**EDITORIAL:**

Cuarta época de Geographicalia | Mapas temáticos y representación de variables espaciales | Programas para hacer mapas

ARTÍCULOS:

Entidades de población y Reto Demográfico | Ordenamiento territorial en Colombia | Gestão territorial conservacionista | Indicadores de seguimiento | Islas de frescor | Poblados industriales

MAPAS:

Entropía en la ciudad de Zaragoza | Población y vulnerabilidad social en España | Clima y cartografía de los Pirineos | Cartografía intraurbana de la justicia espacial en Santander

NOTAS DE INVESTIGACION Y RESEÑAS:

Paisajes forestales afectados por el fuego | Riesgos y cambios ambientales en el Ebro medio | Trayectorias de peligro de incendio | Ciencia ciudadana y despoblación



Departamento de
Geografía y
Ordenación del Territorio
Universidad Zaragoza



Clima y cartografía de los Pirineos: el mapa de temperaturas medias mensuales

Samuel Barrao, José María Cuadrat y Roberto Serrano-Notivoli

Clima y cartografía de los Pirineos: el mapa de temperaturas medias mensuales

Samuel Barrao, José María Cuadrat y Roberto Serrano-Notivoli

Departamento de Geografía y Ordenación del territorio. Instituto Universitario de Ciencias Ambientales. Universidad de Zaragoza. Pedro Cerbuna 12, Zaragoza
sbarrao@unizar.es, cuadrat@unizar.es, roberto.serrano@unizar.es

Resumen: Este trabajo presenta una cartografía detallada de las temperaturas medias mensuales de los Pirineos, elaborada a partir de una amplia base de datos única, con control de calidad y homogeneizada del conjunto de la cordillera, generada por el proyecto CLIMPY-OPCC de caracterización de la evolución del clima, en el que han colaborado los tres países pirenaicos: Francia, España y Andorra. La información se ofrece en modo *grid* o rejilla a escala diaria de 1 x 1 km de resolución espacial, que permite una adecuada aproximación al análisis de los patrones espaciales y de las variaciones mensuales de las temperaturas. El mapa muestra un conjunto de doce representaciones ráster que reflejan la temperatura media mensual en el periodo 1981-2015. El resultado del trabajo, además de contribuir al conocimiento del clima pirenaico, pretende proporcionar herramientas para la investigación científica sobre el clima en áreas de montaña, la gestión de recursos naturales y la concienciación pública sobre el cambio climático.

Palabras clave

Pirineos, temperaturas, cambio climático, cartografía.

Climate and cartography of the Pyrenees: the map of mean monthly temperatures

Abstract: This work presents a detailed cartography of the monthly mean temperatures of the Pyrenees, developed from a large, unique database, with quality control and homogenized of the entire mountain range. The database was generated by the CLIMPY-OPCC project about the characterization of the climate evolution of the Pyrenees. The three Pyrenean countries worked together with the same approach: France, Spain and Andorra. The climatic information is offered as a grid on a daily scale at a 1 x 1 km spatial resolution, which allows an adequate approach to the analysis of spatial patterns and monthly variations of temperatures. The map shows a set of twelve raster representations that reflect the average monthly temperature in the period 1981-2015. Results, in addition to contributing to the knowledge of the Pyrenean climate, aim to provide tools for scientific research on the climate in mountain areas, the management of natural resources and public awareness about climate change.

Keywords

Pyrenees, temperatures, climate change, cartography.

Recibido: 16-11-2023. Aceptado: 16-12-2023.

DOI: https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2023759909

1. Introducción

EL MAPA, COMO FORMA DE EXPRESIÓN DE LA GEOGRAFÍA, es el eje central sobre el que se desarrollan los procesos del análisis geográfico. Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) así como otras herramientas para la cartografía automática (software específico, programación orientada al análisis espacial, etc.), contribuyen a proporcionar una serie de procedimientos que permiten comunicar las variadas pautas de distribución espacial y descubrir la riqueza y complejidad del territorio. Con este planteamiento, el presente trabajo muestra un proyecto cartográfico que tiene como objetivo examinar y representar las temperaturas medias mensuales en la cordillera de los Pirineos, en el marco del proyecto CLIMPY (OPCC-CTP, 2018) de caracterización de la evolución del clima y provisión de información para la adaptación al cambio climático.

Los Pirineos tienen un especial interés debido a que las áreas de montaña son muy sensibles a las variaciones ambientales y se encuentran entre las regiones más vulnerables al cambio climático de todo el mundo (Beniston et al., 1997; Giorgi et al., 1997; Pepin and Lundquist, 2008; El Kenawy et al., 2013; Wang et al., 2014). Sin embargo, los patrones de cambio no son homogéneos y muestran notables diferencias espaciales y temporales que es necesario investigar para mejorar nuestra comprensión de los cambios a largo plazo y sus mecanismos asociados de forzamiento a escala regional.

En los últimos años, muchos estudios centrados en el comportamiento del clima en la región pirenaica han mostrado un progresivo ascenso de las temperaturas, superior al calentamiento general del planeta (Spagnoli et al., 2002; Espejo et al., 2008; El-Kenawy et al., 2011; Deaux et al., 2014), y un aumento de la frecuencia de los eventos extremos, que tienen su reflejo en la disminución de la cobertura de nieve y en el fuerte retroceso de las masas de hielo y de los glaciares (López Moreno et al., 2008; Soubeyroux et al., 2011; Pérez-Zanón et al., 2017; Lemus-Canovas et al., 2019; Bonsoms et al. 2021). Aunque estos estudios han utilizado diferentes escalas espaciales y temporales o diversos enfoques analíticos para evaluar la calidad y la ho-

mogeneidad de los datos, todos ellos han mostrado la intensificación de los fenómenos extremos y han definido patrones de incremento térmico consistentes y coherentes, principalmente desde la segunda mitad del siglo XX, en consonancia con el diagnóstico global que realiza el último informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC, 2021).

Gracias a la colaboración de los tres países con territorio en la cordillera pirenaica: España, Francia y Andorra, se ha conseguido la creación de una base de datos única, con control de calidad y homogeneizada, y el empleo de una metodología común, necesaria para estudiar las características fundamentales del clima y representar las variaciones regionales más importantes.

La creación de una cartografía detallada de las temperaturas medias mensuales en los Pirineos se justifica por varias razones. En primer lugar, proporcionará una herramienta valiosa para la comunidad científica y orientaciones para los gestores de zonas de montaña. Al mostrar las variaciones mensuales en las temperaturas, los mapas elaborados permiten actualizar las bases del conocimiento científico en materia de impactos y vulnerabilidad en los diferentes sectores biofísicos y socioeconómicos de la cordillera pirenaica. Además, este mapa contribuirá a la comprensión de las tendencias a largo plazo en las temperaturas, lo que es fundamental para la investigación climática y la conservación de la riqueza natural de la región. Los datos cartográficos resultantes también pueden ser una herramienta educativa importante para sensibilizar a la sociedad sobre los principales desafíos del cambio climático.

En resumen, este proyecto cartográfico tiene como objetivo la representación de las temperaturas a partir de la amplia base de datos climáticos disponible de los Pirineos, proporcionando una herramienta valiosa para la toma de decisiones, la investigación científica y la concienciación pública. A través de esta iniciativa, esperamos también contribuir al entendimiento y preservación de este importante entorno natural.

2. Identificación del proyecto

EL MAPA DE TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES en el entorno de los Pirineos tiene como mensaje principal proporcionar una representación detallada y comprensible de la variación térmica a lo largo del año en esta región montañosa. Los objetivos específicos son los siguientes:

- Visualizar la distribución de las temperaturas promedio durante cada mes del año en los Pirineos.

- Identificar patrones estacionales de temperaturas en la región, como las estaciones cálidas y frías.
- Facilitar la comprensión de las diferencias de temperatura en las diversas zonas geográficas de los Pirineos, desde las tierras bajas hasta las cumbres y los diferentes valles.
- Proporcionar una herramienta de referencia para la toma de decisiones relacionadas con la gestión de recursos naturales y la planificación en la región.

El público objetivo de este mapa está compuesto por una amplia gama de usuarios, incluyendo:

1. Personal científico e investigador: este mapa servirá como una herramienta de investigación valiosa para climatólogos, geógrafos y expertos de otras especialidades interesados en comprender las variaciones climáticas en la región de los Pirineos.
2. Gestores/as de recursos naturales: los responsables de la gestión de parques naturales, áreas protegidas y recursos hídricos pueden utilizar este mapa para tomar decisiones informadas sobre la conservación de la biodiversidad y la planificación de infraestructuras.
3. Entusiastas del aire libre: montañeros, excursionistas, esquiadores y otros apasionados del aire libre pueden aprovechar este mapa para planificar sus actividades de acuerdo a las estaciones y condiciones climáticas.
4. Educadores/as y Estudiantes: Este mapa puede ser una herramienta educativa útil en entornos académicos, ayudando a estudiantes y profesores a explorar la geografía y el clima de los Pirineos.

El formato del mapa es estático y está diseñado para formar parte de la edición de un atlas climático. Dado que se trata de un recurso destinado a un público amplio y variado, el formato estático permite que el mapa sea fácilmente accesible y legible,

tanto en formato impreso como en formato digital. Esto garantiza su utilidad en diversas situaciones, desde aulas de docencia hasta oficinas de planificación y trabajo de campo. El mapa se ha diseñado para ocupar dos hojas de un libro en formato horizontal y A4. Es decir, 21cm de largo y 59,4cm de ancho.

El desarrollo de este mapa ha sido un proceso riguroso que ha requerido tiempo y esfuerzo. La recopilación de datos climáticos, su procesamiento y la creación de las rejillas climáticas han llevado varios años de trabajo. Este proceso se llevó a cabo en el contexto del proyecto CLIMPY, una iniciativa de “Interreg Poctefa” bajo el paraguas del Observatorio Pirenaico de Cambio Climático (OPCC). Este proyecto representa un hito significativo al involucrar por primera vez a centros de investigación de los tres países pirenaicos, unidos con un objetivo claro: un amplio estudio del clima de la cordillera de los Pirineos.

Se ha invertido un año en la creación de la cartografía, en la revisión de la leyenda y refinamiento del diseño cartográfico para garantizar la calidad y la claridad de la representación final. Este mapa es el resultado de un esfuerzo colaborativo que involucra a personas expertas en climatología, cartografía y geografía, y representa un compromiso con la precisión y la utilidad de la información presentada. El mapa que se muestra en esta ocasión y que ha tardado menos de un mes en hacerse es un ejemplo de lo que será el atlas climático que se está elaborando.

3. Componentes del mapa

PARA LA CREACIÓN DE ESTE MAPA, se empleó la misma base espacial para los 12 meses que abarca la totalidad de la cordillera de los Pirineos y su entorno más cercano. En una fase inicial, se diseñó un límite específico para definir con precisión qué se considera la zona pirenaica. Estos límites fueron creados en base a parámetros bioclimáticos y geomorfológicos con el objetivo de englobar todas las áreas relacionadas con el sistema montañoso sin tomar en cuenta restricciones administrativas o fronteras nacionales. Este límite se empleará como recorte para el desarrollo y la representación de los datos climáticos.

El resto de la información la componen los alrededores de la zona de estudio, enmarcándose en un dominio espacial de aproximadamente 600x250 km. Dentro de esta zonificación, se incorporaron bases espaciales administrativas de diferentes escalas de los tres países limítrofes. Estas incluyen no solo los límites nacionales que atraviesan los Pirineos, sino también los límites administrativos de las comunidades autónomas españolas y las regiones francesas pirenaicas. Además, se integró un mapa de sombras desarrollado a través del modelo digital de elevación sobre Europa (EU-DEM), producido por el programa Copernicus, con una resolución espacial de 30 metros y un sistema de

proyección en ETRS89. Todas estas capas, tanto vectoriales como ráster, provienen de Eurostat, específicamente del *Geographic Information System of the Commission* (GISCO), disponibles en acceso abierto (<https://ec.europa.eu/eurostat/web/gisco>).

Como base cartográfica, también se utilizó el mapa base “Océanos” de Esri, basado principalmente en datos de la *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO). Este mapa destaca por su batimetría y su representación esquemática de entornos terrestres, resaltando principalmente características naturales como ríos y bosques. Sus fuentes principales incluyen Esri, GEBCO, NOAA, Garmin y HERE. El uso de esta base no se centra en resaltar el mar, sino en proporcionar una representación clara de los entornos terrestres circundantes. Mientras que el océano queda enmascarado.

La base espacial se proyecta utilizando el sistema de coordenadas geográficas ETRS89 para garantizar la consistencia y la interoperabilidad, ya que todo el marco de estudio es europeo.

En cuanto a la información representada, el mapa exhibe un conjunto de doce cartografías que reflejan la temperatura media de cada mes del año. Es relevante destacar que cada uno de estos pro-

medios abarca un extenso periodo de más de 30 años, utilizando bases de datos climáticas recopiladas desde 1981 hasta 2015.

La naturaleza de la información térmica en este mapa es tanto climática como geoespacial. Esta información se genera a través de modelos de interpolación espacial (Serrano-Notivoli et al., 2019) que estiman las temperaturas a partir de los datos meteorológicos recopilados de diversas redes de observación meteorológica en los Pirineos. Estos datos climáticos provienen de diferentes instituciones y organismos meteorológicos: Météo-France, la Agencia Estatal de Meteorología, el Servei Meteorològic de Catalunya y Andorra Research+Innovation. Los modelos raster resultantes engloban el límite pirenaico a una resolución espacial de 1x1 km. En este contexto, hemos optado

por seleccionar únicamente la temperatura media mensual para esta publicación, aunque los cálculos se llevaron a cabo para un amplio conjunto de indicadores con distintos fines de monitorización de la variabilidad climática. Estos incluyen, por ejemplo, promedios estacionales de temperaturas máximas, precipitación, así como índices climáticos y tendencias. La amplitud de las variables consideradas en el análisis contribuye a una comprensión más holística y detallada de las condiciones climáticas en la región de los Pirineos.

La escala de medida para las temperaturas es en grados Celsius (°C) y se representa espacialmente de manera continua, posibilitando una representación minuciosa de las variaciones mensuales en el espacio geográfico.

4. Código cartográfico y elaboración

EN LA CONCEPCIÓN DE ESTE MAPA se emplearon modelos de representación diseñados para visualizar de manera efectiva la amplia variación térmica en la región de los Pirineos. Dado que se trata de una base ráster, el **tipo de implantación** utilizado es el de rejilla o cuadrícula. En este enfoque, la superficie del área de estudio se divide en celdas regulares, y cada celda contiene un valor que representa la información específica para esa ubicación. Cada celda en el ráster funciona como un píxel en una imagen, y la variación en los valores de las celdas crea una representación visual de la distribución espacial de la variable térmica en consideración. Este método de implementación permite capturar de manera detallada las variaciones de las temperaturas en la región, facilitando la interpretación y el análisis de la información climática.

La **variable visual** se centró en el uso de colores y la intensidad de estos para transmitir la información térmica (color-valor). Se diseñó una paleta de colores divergente (Figura 1) abarcando el rango de valores disponibles completo y con el punto de ruptura central en 12 °C, que corresponde al valor central y asigna el mismo número de intervalos (9) a ambos lados de la divergencia. Se utilizan tonalidades frías en tonos de azul para representar las temperaturas más bajas, y colores cálidos en tonalidades de amarillos a rojos para indicar las temperaturas más elevadas. La creación de intervalos se llevó a cabo de manera cuidadosa, evitando que los colores extremos sobredimensionaran la interpretación de las temperaturas más frías o cálidas. Este enfoque asegura una representación equitativa y fácilmente comprensible de la variabilidad térmica a lo largo del año, facilitando la comparación entre meses con comportamientos térmicos opuestos, como enero y agosto.

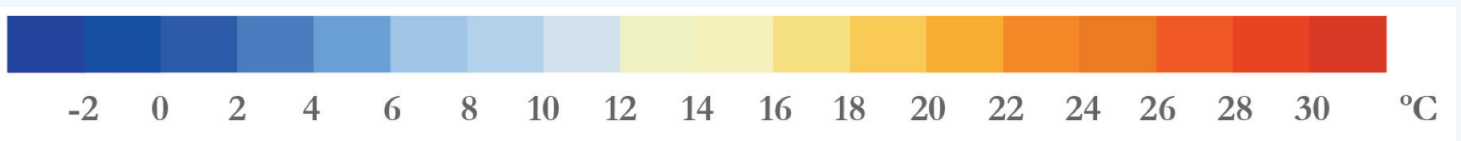


Figura 1. Paleta de colores divergente utilizada para representar el rango completo de las temperaturas medias mensuales.

Fuente: Elaboración propia.

Es importante destacar que los colores seleccionados y el intervalo de representación no solo se aplican a las temperaturas medias, sino que también son válidos para las temperaturas mínimas y máximas. Además, esta paleta de colores y su configuración de intervalos no solo se limita a mapas mensuales, sino que también es aplicable a representaciones estacionales y anuales. Esta flexibilidad en la interpretación permite que los

mapas sean comparables entre sí, independientemente del período temporal o de la variante climática que se esté evaluando. Al no establecer un máximo y un mínimo concreto, se logra que no sean demasiados los colores utilizados, proporcionando una visualización más rica y detallada de las diferencias térmicas, garantizando que los valores medios y anuales no queden reducidos a unas pocas categorías cromáticas indescifrables.

La **leyenda** empleada para este mapa es una leyenda de gradientes de color por intervalos, con una tipología divergente en la representación visual. La variación de color sigue un esquema de colores opuestos o complementarios, asignando tonalidades frías para valores inferiores a 12°C y cálidas para los más elevados. Los intervalos que componen la leyenda se han establecido cada 2°C, abarcando desde < -2°C hasta > 30°C, sumando un total de 18.

Adicionalmente, se han incorporado elementos esenciales del mapa, como la escala y el norte. Se proporciona información adicional sobre los autores, las fuentes utilizadas, un logo identificativo del proyecto y se menciona el software utilizado en la creación del mapa. Como complemento, se han incluido dos pequeñas infografías en el extremo izquierdo del mapa. Una de ellas representa el valor promedio anual de la temperatura media con su distribución espacial, utilizando la misma leyenda que en los mapas mensuales. La segunda infografía muestra el número de estaciones meteorológicas que sirven como base para la generación de los ráster climáticos, acompañadas de su localización. Cabe destacar que, en el caso de las estaciones, se optó por una simple implantación puntual sobre el mapa base de Esri de imágenes satelitales (World Imagery).

El presente mapa ha sido elaborado utilizando el **software** Arc-Map (10.8) de Esri, aunque la metodología y diseño empleados son fácilmente replicables en la plataforma ArcGIS Pro.

El **diseño de la maqueta** de este mapa se ha concebido considerando el objetivo del proyecto y la naturaleza de la informa-

ción que presenta. La zona de estudio, siendo un sistema montañoso con disposición oeste-este, ha influido significativamente en la decisión de diseño. Dado que se trata de un conjunto de 12 mapas destinados a formar parte de un atlas, el diseño ha sido adaptado a un formato horizontal y amplio. Este formato se ha seleccionado estratégicamente para acomodar la serie de mapas de manera prominente, colocándolos como protagonistas centrales en la composición. Asimismo, el diseño se ha inspirado en la composición de otros atlas temáticos de cordilleras, tomando como referencia la estructura de atlas de regiones montañosas como los Alpes o los Cárpatos (Antolović et al., 2013; Spiegel et al., 2021) y otros atlas nacionales (García-Couto et al., 2011).

El enfoque centralizado en los mapas ha sido esencial para destacar la variabilidad térmica. La información adicional, que no requiere la misma atención visual, se ha distribuido de manera equilibrada en los pequeños márgenes inferiores de la maqueta. Este diseño optimiza la experiencia del observador al proporcionar una visualización clara y accesible de la información climática principal.

Además de las infografías y elementos cartográficos, se ha incorporado una pequeña infografía desarrollada mediante el software R. Esta infografía adicional ofrece una representación visual de la distribución de todos los píxeles en el mapa, proporcionando una visión más detallada y completa del comportamiento mensual de las temperaturas.

5. Resultados y análisis

EL TRABAJO SE ABORDA DESDE UNA PERSPECTIVA TERRITORIAL GLOBAL, en la que, más allá de las fronteras administrativas, el clima se entiende como una variable continua en el espacio, que requiere de protocolos conjuntos de actuación sobre la información, los resultados y su plasmación espacial. En muchos casos estos estudios emplean baja densidad de estaciones meteorológicas, o se apoyan en datos de una red meteorológica heterogénea con cambios significativos entre países y mediciones no siempre armonizadas y, en consecuencia, los resultados se limitan a áreas reducidas de la cordillera, con las dificultades inherentes cuando es necesaria una visión integrada de los mismos. Estas restricciones son fruto de la diversidad del clima de montaña, unida a la baja densidad de observatorios y, en ocasiones, a la complejidad administrativa de los diferentes países, todo lo cual dificulta unir la información climática en un solo proyecto. Con esta visión más global, en Europa son destacables los proyectos HISTALP, sobre la cordillera de los Alpes (Auer et al., 2007), y CARPATCLIM sobre los Cárpatos (Szalai et al., 2013), cuyo esfuerzo por proporcionar una amplia y uniforme base de datos permite una buena aproximación al conocimiento del clima de sus respectivos territorios. Con el

mismo propósito, en los Pirineos el proyecto CLIMPY, coordinado por el OPCC, ha hecho posible la evaluación del clima del conjunto de la cordillera con la generación de un registro de datos diarios completos, temporal y espacialmente homogéneos, de las temperaturas y los metadatos correspondientes del periodo 1950-2015.

Con esta información, los resultados que se obtienen de los diferentes mapas permiten subrayar dos hechos muy significativos del clima de la cordillera: en primer lugar, la fuerte dependencia que las temperaturas tienen de la altitud y, en segundo lugar, la influencia que ejerce la mayor o menor proximidad al océano Atlántico o al mar Mediterráneo, en contraste con la posición interior de condiciones continentales del sector central de los Pirineos. Aunque son características en parte ya conocidas, en este proyecto se avanza en tres cuestiones relevantes: primero, la representación consigue mayor precisión porque la cartografía se apoya en un elevado volumen de datos de muy alta resolución temporal y espacial; segundo, se ofrece por primera vez una visión global de los Pirineos frente a los estudios muy limitados realizados hasta ahora; y en tercer lugar,

los índices descriptivos ETCCDI empleados posibilitan la comparación de los resultados con otras regiones.

En todos los mapas las temperaturas muestran tanto los cambios altitudinales como las diferentes influencias marítimas o continentales: los valores promedios anuales superan los 10 °C en el prepirineo y se sitúan por debajo de los 4 °C en las cumbres más elevadas de la cordillera, donde la existencia de glaciares indica tipos de clima de tundra y de hielos perpetuos. Al mismo tiempo, se observa un comportamiento diferenciado entre los Pirineos franceses y españoles, consecuencia de la distinta estructura del relieve: más estrecha y abrupta la vertiente francesa que la vertiente española, que tiene mayor anchura y considerable diversidad topográfica. Todo ello explica la existencia de un gradiente térmico muy marcado desde las altas cumbres de la línea fronteriza hacia Francia y otro más suave y espaciado hacia España, al que se suma otro gradiente desde el sector central de los Pirineos en sentido oeste y otro en dirección este como consecuencia del progresivo aumento de la influencia atlántica o a la mayor presencia de dominio mediterráneo.

Este patrón se repite en cada uno de los meses del año, con diferencias significativas sobre todo entre los meses de invierno y de

verano. En el primer caso se remarcan las condiciones de continentalidad y de valores térmicos muy fríos, inferiores a 0 °C, de las cabeceras de los valles interiores de Midi-Pyrénées, Aragón y Cataluña frente a la templanza térmica que se observa hacia ambos límites de la cordillera en contacto con la influencia marítima, donde la temperatura promedio es superior a los 4 °C. En verano se mantiene este contraste, con valores próximos a los 4 °C en el eje central de los Pirineos y superiores a 20 °C en las cotas bajas cercanas al mar. La cartografía resalta también la reducida oscilación térmica que se constata en las cotas elevadas del sector central, inferior en muchos casos a 5 °C, y su rápido aumento con el descenso altitudinal, hasta superar los 15 °C en los valles centrales de Aragón y Cataluña, en un claro efecto de continentalidad.

Los resultados de este proyecto cartográfico, por su detalle y amplia resolución espacial, permiten conocer los rasgos principales de las temperaturas y su variación temporal. Y al mismo tiempo, son la referencia básica para evaluar la tendencia del clima y para preparar escenarios regionalizados de cambio climático que ayuden a elaborar estudios de impacto y vulnerabilidad específicos, y valorar las necesidades de adaptación en diversos sectores y sistemas ecológicos del Pirineo.

6. Conclusiones

EL PROYECTO ABORDA LA COMPLEJIDAD CLIMÁTICA de los Pirineos al considerar múltiples variables térmicas, proporcionando una visión detallada y holística de la región.

La metodología de interpolación espacial utilizada para generar los datos climáticos demuestra innovación, aprovechando múltiples fuentes y redes de medición para lograr una representación detallada y precisa.

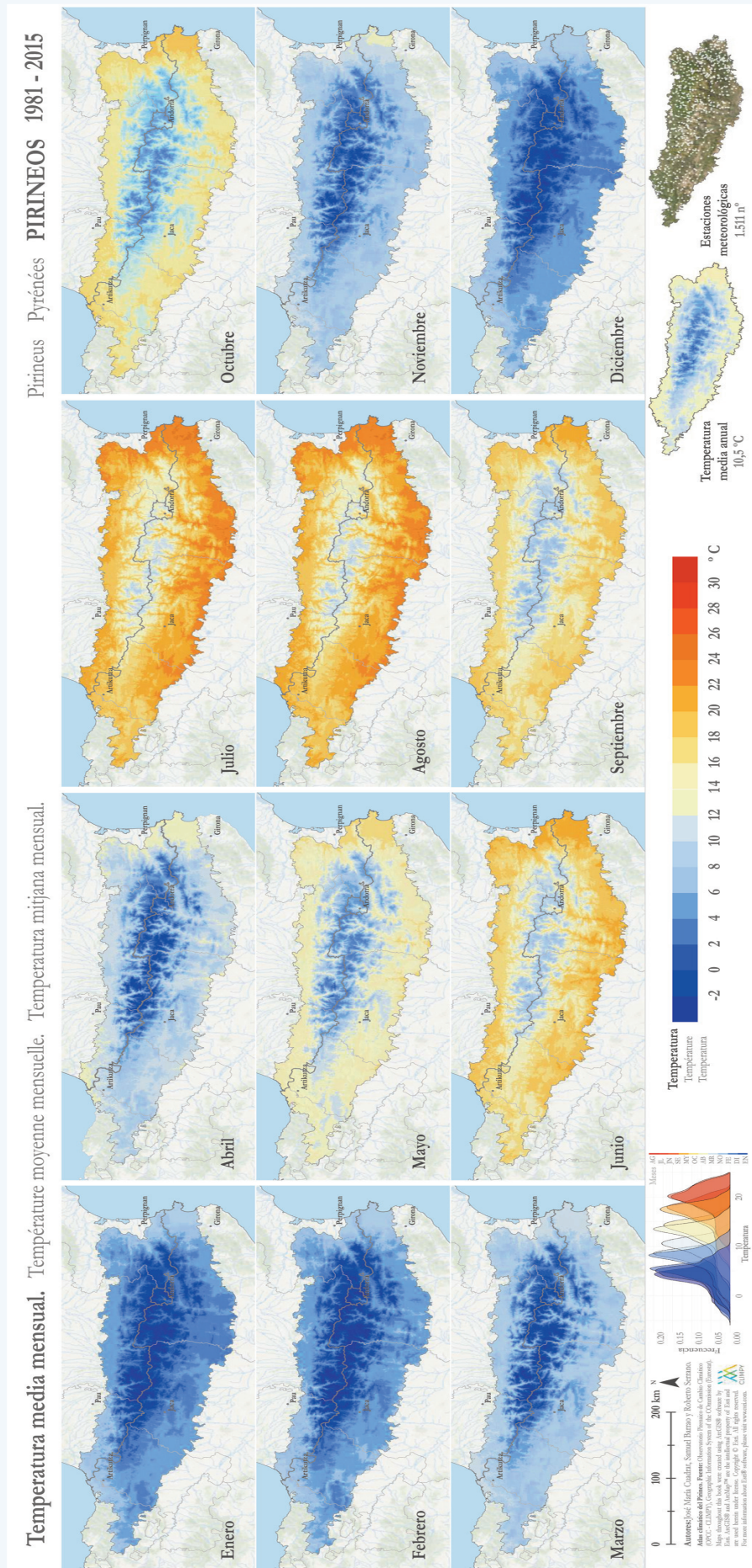
La elección de un modelo ráster con colores divergentes permite una representación efectiva de las variaciones térmicas, garantizando la comparabilidad entre diferentes meses y variables climáticas.

La representación detallada de las variaciones estacionales contribuye a la identificación de áreas vulnerables, facilitando la planificación y la adaptación de comunidades y ecosistemas a eventos climáticos extremos.

El mapa no solo sirve como herramienta científica, sino que también se orienta a la gestión ambiental, la planificación y actividades recreativas, abarcando una audiencia diversa.

Agradecimientos

LOS AUTORES AGRADECEN AL PROYECTO CLIMPY, coordinado por el Observatorio Pirenaico del Cambio Climático (OPCC), que permitió la realización de las bases climáticas para la realización de este mapa. Además, los autores cuentan con el apoyo del Gobierno de Aragón a través del “Programa de Grupos de Investigación” (grupo S74_23R, “Clima, Agua, Cambio Global y Sistemas Naturales”) y pertenecen al Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA). Roberto Serrano-Notivoli está financiado por una ayuda Ramón y Cajal RYC2021-034330-I financiada por MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y por la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR.



Mapa Pirineos.

7. Bibliografía

- Auer, I., Böhm, R., Jurkovic, A., Lipa, W., Orlik, A., Potzmann, R. y Nieplova, E. (2007). HISTALP—historical instrumental climatological surface time series of the Greater Alpine Region. *International Journal of Climatology*, 27(1), 17–46. <https://doi.org/10.1002/joc.1377>
- Antolović, I., Mihajlović, V., Rančić, D., Mihić, D. y Djurdjević, V. (2013). Digital Climate Atlas of the Carpathian Region. *Advances in Science and Research*, 10(1), 107–111. <https://doi.org/10.5194/asr-10-107-2013>
- Beniston, M., Diaz, H. F. y Bradley, R. S. (1997). Climatic change at high elevation sites: an overview. *Climatic Change*, 36, 233–251. <https://doi.org/10.1023/A:1005380714349>
- Bonsoms, J., Gonzalez, S., Prohom, M., Esteban, P., Salvador-Franch, F., López-Moreno, J. I. y Oliva, M. (2021). Spatio-temporal patterns of snow in the Catalan Pyrenees (NE Iberia). *International Journal of Climatology*, 41(12), 5676–5697. <https://doi.org/10.1002/joc.7147>
- Deaux, A., Soubeyroux, J. M., Cuadrat, J. M., Cunillera, J. y Prohom, M. (2014). Homogénéisation transfrontalière des températures sur le massif des Pyrénées. *Rev. Climatologie*, 24, 67–78.
- El Kenawy, A., López-Moreno, J. I. y Vicente-Serrano, S. M. (2011). Recent trends in daily temperature extremes over northeastern Spain (1960–2006). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11(9), 2583–2603. <https://doi.org/10.5194/nhess-11-2583-2011>
- El Kenawy, A., López-Moreno, J. I. y Vicente-Serrano, S. M. (2013). Summer temperature extremes in northeastern Spain: spatial regionalization and links to atmospheric circulation (1960–2006). *Theoretical and Applied Climatology*, 113(3–4), 387–405. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0797-5>
- Espejo, F., Ferraz, J. y Palomo, M. (2008). Tendencias recientes en las series de temperatura del Pirineo Central y Occidental. En: Sigró Rodríguez, J.; Brunet India, M.; Aguilar Anfrons, En. (eds.). *Cambio climático regional y sus impactos*. Tarragona: Asociación Española de Climatología, 2008, p. 99–108.
- García-Couto, M. Á., Chazarra, A., Cunha, S., Silva, Á., Herráez, C., Pires, V., Marques, J., Mendes, L., Mestre-Barceló, A., Neto, J., Nunes, L. F. y Mendes, M. (2011). *Atlas climático ibérico: temperatura del aire y precipitación (1971-2000)*. Agencia Estatal de Meteorología; Instituto de Meteorología (Portugal). <https://doi.org/10.31978/784-11-002-5>
- Giorgi, F., Hurrell, J. W., Marinucci, M. R. y Beniston, M. (1997). Elevation dependency of the surface climate change signal: a model study. *Journal of Climate*, 10, 288–296.
- IPCC (2021). In Masson-Delmotte et al. (Eds.). *Climate Change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>
- Klein Tank, A., Zwiers, F. y Zhang, X. (2009). Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. *World Meteorological Organization*, Report WCDMP-No.72, WMO-TD 1500, Geneva, Switzerland, 52 pp. <http://www.clivar.org/organization/etccdi/etccdi.php>
- Lemus-Canovas, M., Lopez-Bustins, J. A., Trapero, L. y Martin-Vide, J. (2019). Combining circulation weather types and daily precipitation modelling to derive climatic precipitation regions in the Pyrenees. *Atmospheric Research*, 220, 181–193. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.01.018>
- López-Moreno, J. I., Goyette, S. y Beniston, M. (2008). Climate change prediction over complex areas: spatial variability of uncertainties and predictions over the Pyrenees from a set of regional climate models. *International Journal of Climatology*, 28(11), 1535–1550. <https://doi.org/10.1002/joc.1645>
- OPCC-CTP (2018). *El cambio climático en los Pirineos: impactos, vulnerabilidades y adaptación. Bases de conocimiento para la futura estrategia de adaptación al cambio climático en los Pirineos*. Observatorio Pirenaico del Cambio Climático. 150 p. ISBN: 978-84-09-06268-3.

- Pepin, N. C. y Lundquist, J. D. (2008). Temperature trends at high elevations: Patterns across the globe. *Geophysical Research Letters*, 35(14). <https://doi.org/10.1029/2008GL034026>
- Pérez-Zanón, N., Sigró, J. y Ashcroft, L. (2017). Temperature and precipitation regional climate series over the central Pyrenees during 1910–2013. *International Journal of Climatology*, 37(4), 1922–1937. <https://doi.org/10.1002/joc.4823>
- Serrano-Notivoli, R., Beguería, S. y De Luis, M. (2019). STEAD: A high-resolution daily gridded temperature dataset for Spain. *Earth System Science Data*, 11(3), 1171–1188. <https://doi.org/10.5194/essd-11-1171-2019>
- Soubeyroux, J. M., Jourdain, S., Grimal, D., Espejo, F., Esteban, P. y Merz, T. (2011). Approche transfrontalière pour l'inventaire et la valorisation des données climatologiques sur le Massif des Pyrénées. *Colloque SHF «Eaux en montagne»*. Lyon, 344-350.
- Spagnoli, B., Planton, S., Mestre, O., Déqué, M. y Moisselin, J.M. (2002). Detecting climate change at a regional scale: the case of France. *Geophysical Research Letters*, 29-10, 91-94.
- Spiegel, S., Weber, T., Köcher, B. y Bragin, L. (2021). *The Book of the Alps* (Marmota Ma).
- Szalai, S., Konkolyné Bihari, Z., Lakatos, M. y Szentimrey, T. (2013). The CARPATCLIM project. High-resolution database of the Carpathian Region. *Seminar on Environmental Problems*. Szent Istvan University. (in Hungarian).
- Wang, Q., Fan, X. y Wang, M. (2014). Recent warming amplification over high elevation regions across the globe. *Climate Dynamics*, 43(1–2), 87–101. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1889-3>

