

Climatología: ¿“patito feo” o “piedra angular”? Series largas sintéticas para la obtención de índices climáticos y calibración de pronósticos

JOSÉ LUIS CAMACHO

Se meteorólogo se asocia frecuentemente con la predicción del tiempo y la emisión de avisos que permitan a nuestros conciudadanos salvar vidas y haciendas. Sin embargo, para que esas predicciones estén afinadas y expresadas en términos de impactos para ayudar a la toma de decisiones, se necesitan otras ramas de la profesión. La climatología ha sido frecuentemente el “patito feo” junto con la oscura pero fundamental labor de sistemas básicos.

Aquí vamos a contar muy sucintamente como se trabaja con indicadores climáticos, su relación con el sistema de avisos de AEMET y su utilización por sectores, todo ello aplicado a la serie de temperaturas extremas diarias entre 1950 y 2023 de la serie creada por el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) a partir de las observaciones del Turó de l'Home y el Puig Sesolles ambos en la vecindad del punto más alto del macizo de Montseny. Analizaremos el número de días con máximas y mínimas inferiores a cero grados y las consecuencias de la evolución observada a lo largo de 74 años y los relacionaremos con los umbrales del sistema Meteoaleta de AEMET.

Historia de las observaciones en la cumbre del Montseny

La cordillera Costera Catalana tiene sus mayores elevaciones en el macizo del Montseny, a caballo entre las provincias de Barcelona y Girona, a unos 20-30 km en línea recta de la costa del Maresme. El punto más elevado es el Turó de l'Home con 1707 msnm. Desde el macizo, que es reserva de la biosfera, se disfruta de unas vistas privilegiadas de gran parte de las provincias de Barcelona y Girona siendo posible divisar la sierra de Tramuntana de



foto Fernando García de Ca

Figura 1. Arriba: observatorio del Turó de l'Home creado y gestionado por el SMC en los años 30 del siglo XX. Abajo: el observatorio del Turó de l'Home (a 1707 msnm) en el punto más alto de la cordillera Prelitoral Catalana. Imagen de los años 80 con los dos edificios reformados. Probablemente, foto del archivo familiar García de Castro-Messeguer; Fuente: UPC commons.

la isla de Mallorca en días claros.

Con motivo del Segundo Año Polar Internacional, el director del SMC, Dr. Eduard Fontserè consiguió edificar, en 1932, una caseta de madera suficientemente apta para albergar observadores en la cima del Turó de l'Home y logró establecer instrumentos y pautas de trabajo para mantener las observaciones durante el periodo entre 1933 y el final de 1938. La guerra civil dificultó las tareas y finalmente obligó al cierre del observatorio. A principios de la década de los cuarenta, el Servicio Meteorológico Nacional, antecesor de AEMET, envió a observadores para instalar aparatos registradores mecánicos y mantener la edificación pero no fue hasta 1951 en que se destinó al observador Fernando García de Castro, el cual se instaló en precario en la caseta durante los fines de semana para atender a los registradores complementándolos con observaciones manuales, hasta que logró convencer a la superioridad de la época para que mejoraran las instalaciones, construyéndose un nuevo módulo en 1954 y mejorando el antiguo en 1976. La familia García de Castro – Messeguer se hizo cargo de la gestión de observaciones y observatorio hasta 1987 en que se jubiló Fernando. Su hijo Miguel continuó con las observaciones hasta 2001. El SMC actual instaló, en 2010, una estación meteorológica automática (EMA) dentro del recinto que ocupa la cima del Puig Sesolles, a una altitud de 1694 m y a una distancia de unos 350 metros del Turó de l'Home.

Creación de series largas climatológicas

Existen diversas técnicas para crear series de datos completando los huecos y corrigiendo, dentro de ciertos límites, las consecuencias de cambios en instrumentación o en las condiciones de medida en un observatorio. En AEMET, utilizamos el paquete estadístico CLIMATOL, diseñado por el experto José Antonio Guijarro, y aplicado en muchos servicios meteorológicos. Este software permite rellenar las lagunas de datos e identificar los cambios “abruptos” en el comportamiento de una serie: cambio de instrumentación, cambios en el entorno próximo como quema de bosques, urbanización, etc.

En el caso de la serie del Montseny, el SMC ha creado la base de datos CADTEP (Catalan Daily Temperature and Preci-

itation data set), a partir de los datos originales de AEMET y SMC de las observaciones diarias de temperaturas máxima y mínima y precipitación. Las series comienzan en enero de 1950 y se van poniendo al día progresivamente. En el caso de la cumbre del Montseny, los datos provienen del periodo AEMET (1950-2001) en Turó de l'Home y del periodo SMC (2010-actualidad) en Puig Sesolles. Se ha aplicado un análisis de calidad diario y una homogeneización relativa, con la metodología de ACMANTv5.1, que ha permitido ajustar la serie y hacerla climáticamente útil (Prohom *et al.*, 2023), siendo el período final de análisis 1950-2023. El método también ha rellenado las lagunas existentes, sobre todo en el periodo 2001-2010, y corregido los saltos asociados a cambios de instrumentación, en especial, la medida de las máximas a partir de 1982.

Las series climatológicas son el pilar básico del desarrollo de los Servicios Climáticos. No se pueden calibrar los modelos sin ellas, sobre todo las predicciones extendidas y climáticas, ni se pueden desarrollar aplicaciones sectoriales sin índices climáticos derivados de ellas.

Indicadores climáticos. Días de helada, días de hielo y eventos extremos.

Dentro del Sistema de Información de Servicios Climáticos propuesto por la OMM, el primer elemento son los datos climáticos obtenidos a partir de la elaboración de las series y de su análisis posterior. Este análisis se realiza con la ayuda de índices climáticos de carácter general o sectorial como los generados mediante el software CLIMPACT de la OMM en el que la Universitat Rovira i Virgili de Tarragona tiene una importante participación en su desarrollo. Mediante el cálculo y la evolución posterior de estos índices climáticos, podemos llegar a conocer la variabilidad climática en el entorno de un observatorio, estimar como está cambiando el clima y desarrollar planes de adaptación en los sectores críticos para nuestro ámbito de actuación.

Utilizaremos cinco periodos climáticos de 30 años desde 1951-1980 hasta 1991-2020 escalonados 10 años cada uno. Cuando se habla de referenciar los eventos respecto a un periodo en que se considere que el cambio climático de ori-

gen antropogénico era mucho menos notable, se toman los periodos 1961-1990 o 1971-2000, sin embargo, los avisos por fenómenos extremos se suelen referir al periodo 1991-2020. Según la *Guía para el análisis de extremos en un clima cambiante en apoyo de la toma de decisiones informadas para adaptación* (Klein Tank *et al.*, 2009) de la OMM, se utilizan dos índices principales en temperaturas bajas, siendo el valor de índice el número de días que cumplen las condiciones en el periodo considerado (1 año):

1. FD, frost days o días de helada en los que la temperatura mínima no supera los 0 grados.

2. ID, icing days o días de hielo en los que la temperatura máxima no supera los 0 grados.

Teniendo en cuenta la especificidad de un observatorio situado en lo que antes se consideraba alta montaña, proponemos añadir tres índices más, dos asociados a las temperaturas mínimas y uno a las máximas y utilizarlos para calibrar los umbrales de AEMET en avisos de Meteoalerta

3. SFD, Severe Frost Days, o días de helada severa en los que la temperatura mínima no supera los -8 grados. El límite del nivel naranja de aviso por temperaturas mínimas definido por AEMET en el prelitoral de Barcelona.

4. XFD, Extreme Frost Days, o días de helada extrema en los que la temperatura mínima no supera los -12 grados. El límite del nivel rojo de aviso por temperaturas mínimas definido por AEMET en el prelitoral de Barcelona.

5. SID, Severe Icing Days, o días de hielo severo en los que la temperatura máxima no supera los -4 grados. La temperatura es el nivel superior del nivel amarillo de aviso por temperaturas mínimas definido por AEMET en el prelitoral de Barcelona

Un resumen de posibles impactos esperados para cada índice sean los siguientes:

✓ **FD.** Día de helada puede provocar daños en plantas y animales no habituados a estos climas. La disminución importante del número de heladas abre la puerta a especies invasoras que desplazan a las autóctonas.

✓ **ID.** Los días en los que la temperatura no sube de cero grados implica persistencia de hielo y un fuerte stress para vegetación y fauna. Las superficies

Climatología: ¿“patito feo” o “piedra angular”? Series largas sintéticas para la obtención de índices climáticos y calibración de pronósticos

nevadas o heladas no sufren procesos de hielo-rehielo y el agua no se filtra en el terreno. Las condiciones de vialidad invernal y movimientos de visitantes deben de ser evaluadas.

✓ **SFD**, días con nivel naranja de aviso por temperaturas mínimas. Es de esperar que especies que no sean autóctonas tengan problemas para sobrevivir. Habría que evaluar el efecto en la colonización de las cumbres por parte de los árboles de niveles inferiores. Las condiciones para el acceso de visitantes a las partes elevadas del Parque Natural deberían de ser evaluadas.

✓ **XFD**, días con nivel rojo de aviso por temperaturas mínimas. Los casos más extremos y poco frecuentes pero de altísimo impacto en vegetación y fauna. Extremar la evaluación de las condiciones de acceso para visitantes.

✓ **SID**, días en los que la temperatura no sube de -4 grados en todo el día. Condiciones propias de la estepa rusa o del alto Pirineo. Las zonas con acumulación de agua poco profunda pueden llegar a helarse completamente con consecuencias para la fauna acuática. Restricciones de acceso a visitantes recomendadas.

Resultados

Los resultados que aquí presentamos forman parte de un trabajo mucho más amplio que se publicará pronto. En la figura 2 presentamos la evolución de los índices FD y ID, y en la figura 3 la evolución de SFD, XFD y SID. Se produce un triple empate en el máximo de días de helada, FD, con 128 casos en 1956, 1972 y 1991. El número de días de hielo, ID, de 1956 fue de 38 días, lejos de los récords de 1963 con 48 y 1991 con 48. Otros dos años fríos fueron 1984 con 124 FD y 33 ID y 1985 con “solo” 110 FD pero 36 ID.

El título honorífico de “año del hielo” podría estar entre 1956, 1963, 1972 o 1991. Si lo definimos solo en función de los máximos de FD e ID sería 1991 pero si tenemos en cuenta los índices de frío extremo SFD, XFD y SID vemos que en 1991 hubo pocos fríos tan extremos como 1956 y 1963. En 1956 se produce el valor de máximo de XFD con el valor récord de 12 días de valores inferiores a -12 grados, incluyendo los -19.5 grados en la serie, y en 1963 el valor máximo de SFD con 24 días de mínimas inferiores a -8 grados, frío no tan extremo pero más

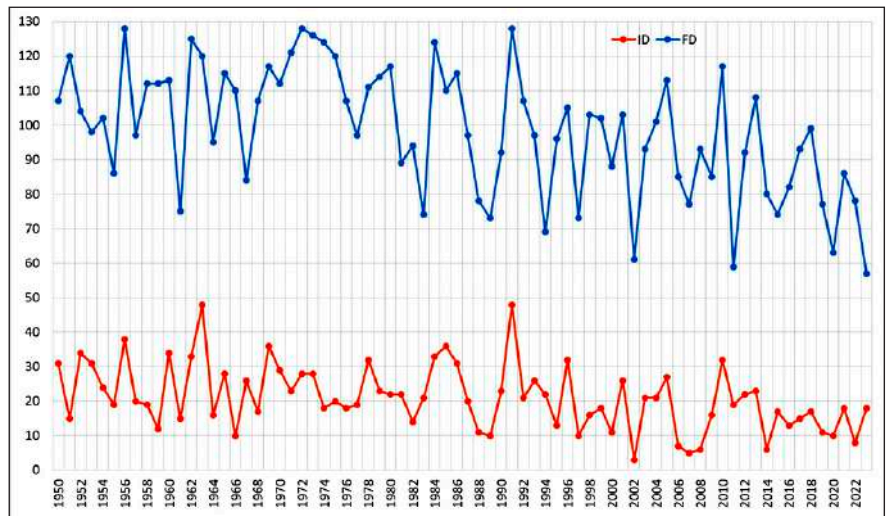


Figura 2. Días de heladas (FD) y días de hielo (ID) para la serie Cim del Montseny entre 1950 y 2023

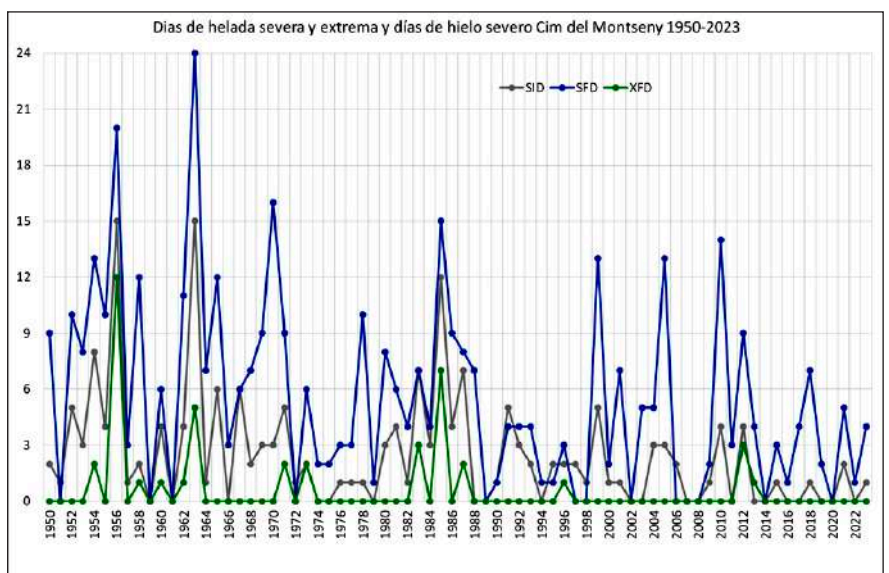


Figura 3. Días de heladas severas (SFD), extremas (XFD) y días de hielo severo (SID) para la serie Cim del Montseny entre 1950 y 2023

amplio en su severidad. El año 1972 es notable por estar asociado a un periodo de cinco años con días de helada iguales o superiores a 120 desde 1970 hasta 1975, en contraste con la fuerte variación entre años que muestran casi todas las épocas, pero caen a cero los días de heladas severas. Y dejo abierto el tema sobre cual año merece el título a la opinión del lector cualificado de esta revista.

Por el otro extremo, menores ocurrencias, destacan en días de helada: 2002 con 61, 2011 con 59 y 2023 con 57 días de helada. El año 1994 fue el que registró menos días de helada en la parte de la serie del siglo XX con 69 días. En cuanto a días de hielo, 2002 marcó el mínimo con 3 eventos, siendo el primer año en que se produjeron menos de 10 casos. En 2006, 2007 y

2008 hubo un mínimo relativo con 7, 5 y 6 casos. En 2022 hubo 8 casos y 18 en 2023. No parecen extinguirse de momento, los días de hielo en la cima del Montseny. Los casos de días de hielo severos han disminuido desde 1985 pero siguen presentes con 2 casos en 2021 y 1 caso en 2023. Los años 1952 y 1963 poseen el máximo de días de hielo severos con 15 casos cada uno. El año 1985 registró 12 casos. La lista de años con valores de SID superior a cinco días incluye además de los citados a 1952, 1965, 1967, 1971, 1983, 1987 y 1991 que fue el último.

La curva azul en la figura 3 nos muestra los casos de días en los que hubiera sido necesario un aviso naranja (umbral -8 grados de temperatura mínima) en la zona prelitoral de Barcelona. Este núme-

ro habría que tomarlo como el número máximo de casos de avisos, ya que está en la zona más sensible y más fría de la unidad geográfica prelitoral central. Notamos que, aunque la frecuencia en el siglo XXI ha disminuido, aún hay enjambres de años en que se produce un número notable de casos: 2003-2005 con 23 días, 2010-2013 con 30 días (entre ellos 3 días con temperaturas mínimas inferiores a -12 en 2012), 2018 con 7 casos, 2021 con 5 y 2023 con 4.

De los 43 días que se registraron mínimas por debajo de -12 grados (nivel rojo de aviso), solo cuatro ocurrieron entre 2001 y 2023 (3 de ellos en 2012). El último caso fue en 2013. De estos 43 casos, 12 se produjeron en 1956, 5 en 1963, y 7 en 1985.

Analizando las ocurrencias de heladas por meses, vemos en la tabla 1 que enero es el mes con mayor frecuencia absoluta. Diciembre, enero, febrero y marzo presentan un importante número de heladas superior a 1000 días en 74 años. La probabilidad de ocurrencia de heladas por meses muestra en que la mayor frecuencia relativa se produce en febrero con casi 69 %. En meses tan tardíos o tan tempranos como los de abril y noviembre, la probabilidad de día de heladas es de alrededor de un tercio.

Tabulando los índices agrupados por periodos climáticos obtenemos los promedios de días de temperatura máxima y de temperatura mínima por debajo de los diferentes umbrales en la tabla 2. Observamos una pequeña disminución en la climatología 1961-1990 respecto a la anterior, que continúa progresando en la de 1971-2000. Sin embargo, en la siguiente climatología 1981-2010 se parecían indicadores de los índices severos SID y SFD a la anterior. La climatología 1991-2020 continúa el proceso de descenso de los índices hasta llegar a sus mínimos: 17.8 días de hielo anuales con 1.4 días de hielo severo, 90.8 días de helada con 5.6 de días de helada severa (nivel naranja) y 0.2 días de helada extrema (nivel rojo).

Un análisis rápido de tendencias mediante el test de Mann-Kendall, utilizando el software Makesens del FMI sobre 74 datos anuales, muestra una disminución estadísticamente significativa tanto en FD: -4.6 días/década (test Z -4.67) como en ID: -1.8 días década (test Z -3.63)

Mes	Recuento	Prob heladas (%)	Mes	Recuento	Prob heladas (%)
Enero	1524	65.5	Junio	5	0.2
Febrero	1461	68.8	Septiembre	2	0.1
Marzo	1283	54.2	Octubre	157	6.5
Abril	852	36.5	Noviembre	751	32.8
Mayo	181	7.2	Diciembre	1280	54.5

Tabla 1. Frecuencias absolutas y relativas de días de heladas en la cumbre del Montseny. Periodo 1950-2023

Climatología	Tmax<0	Tmax<=-4	Tmin<0	Tmin<-8	Tmin<=-12
1951-1980	24.5	3.2	109.9	7.4	0.9
1961-1990	23.7	3.1	105.7	6.7	0.7
1971-2000	22.3	2.5	102.6	4.6	0.6
1981-2010	20.1	2.5	94.7	4.6	0.4
1991-2020	17.8	1.4	90.8	3.7	0.2
1950-2023	21.1	2.5	98.6	5.6	0.6
2021	18	2	86	5	0
2022	8	0	78	1	0
2023	18	1	57	4	0

Tabla 2. Promedios de los indicadores climáticos de temperaturas frías en los periodos de 30 años, de todos los años de la serie, y valores individuales de 2021, 2022 y 2023. Valores en días/año.

Conclusiones

De acuerdo a los valores de los índices climáticos utilizados, podemos concluir que el periodo 1951-1980 era más frío que los últimos 30 años de referencia, en especial con un intervalo de frío sostenido a principios de los años 70. El podio de año con más heladas y heladas severas lo comparte 1956 y 1963. 1984-1985 ocuparían un segundo nivel. El año 1991 tiene rango especial por sus valores extremos o de récord de FD e ID pero se aleja mucho en cuanto a valores extremos de los años mencionados. El año 1972 es notable por el número de días de helada y días de helada pero con casi nula severidad. La frecuencia de heladas es muy elevada entre noviembre y abril, con dos tercios de los días en enero y febrero

Los indicadores climáticos van disminuyendo a lo largo de los cinco periodos considerados. El análisis de tendencia de Mann-Kendall muestra valores significativos para FD e ID de disminución de -4.6 días/década y -1.8 días/década. Sin embargo, en los últimos 10 años continúa habiendo un número importante de heladas y días de hielo en la cima del Montseny.

Esto también es aplicable a los casos de avisos de temperatura nivel naranja con 91 casos en el siglo XXI con cierta tendencia a agruparse en periodos: 26 casos en 2003-2005; 30 en 2010-2013, con 3 días de temperaturas mínimas inferiores a -12 en 2012; 7 casos en 2018; 5 casos en 2021 y 4 en 2023.

Casos que hubieran merecido un aviso por nivel rojo hay pocos en el siglo XXI.

De los 43 casos de XFD, solo cuatro ocurrieron entre 2001 y 2023 (3 de ellos en 2012). El último caso fue en 2013.

La reducción paulatina de los días de heladas y días de hielo abre la puerta a transformaciones en el paisaje en cuanto a la aparición de especies vegetales o animales procedentes de los pisos inferiores o de otras zonas. Sin embargo, aún hay suficientes intervalos fríos para que la transformación no sea inmediata.

Teniendo en cuenta el cambio paulatino en las temperaturas y la disminución en la población de la cultura de adaptación al frío, los casos de frío extremo pueden traer consecuencias negativas importantes para el turismo y los visitantes del parque natural por ser más "inesperados". Probablemente habría que trabajar en protocolos específicos para la comunicación y la gestión de visitantes en las zonas altas del macizo

Y para responder a la pregunta del título: la climatología básica es el fundamento necesario y previo de cualquier desarrollo de productos o servicios climáticos.

Referencias

- Klein Tank, A.M.G., Zwiers, F.W. & Zhang, X.B. (2009) Guidelines on Analysis of Extremes in a Changing Climate in Support of Informed Decisions for Adaptation. World Meteorological Organization-No. 72, 55.
- Prohom et al., (2023). CADTEP: A new daily quality-controlled and homogenized climate database for Catalonia (1950-2021). *International Journal of Climatology*, 43(11), 4771-4789. <https://doi.org/10.1002/joc.8116>