

# EL AVISO DE LA SITUACIÓN METEOROLÓGICA DE RIESGO POR FRÍO EMITIDO POR EL SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA: DEFINICIÓ DE LOS UMBRALES, SECTORIZACIÓN TERRITORIAL Y PELIGROSIDAD DEL FENÓMENO

Juan Carlos PEÑA RABADÁN<sup>1,2</sup> y José M. RASO NADAL<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Climatología. Universitat de Barcelona

<sup>2</sup>Servei Meteorològic de Catalunya. Departament de Medi Ambient i Habitatge.

Generalitat de Catalunya

[raso@ub.edu](mailto:raso@ub.edu), [jpena@meteocat.com](mailto:jpena@meteocat.com)

## RESUMEN

Se presenta un análisis de la Situación Meteorológica de Riesgo por frío adoptado por el Servei Meteorològic de Catalunya a partir del percentil 2 de las temperaturas mínimas extremas para los meses del invierno extendido, periodo que comprende los meses de diciembre a marzo. Este percentil es el que mejor resultado muestra cuando se relacionan la variable térmica con el número de difuntos diarios. A partir de este umbral se propone una territorialización de Catalunya de diez sectores y un análisis de la peligrosidad del fenómeno a partir de su intensidad y su frecuencia.

**Palabras-Clave:** Análisis Componentes Principales, Equamax, Olas de frío, Riesgo.

## ABSTRACT

*It presents an analysis of the meteorological cold risk situation adopted by the Meteorological Service of Catalonia from 2 percentile of the extreme minimum temperatures for extended winter months, period which covers the months from December to March. This percentile is the best result when the thermal variable relate to the number of dead. From this threshold is proposed to divide Catalonia in ten sectors which it takes into account the climate variability and an analysis of the phenomenon hazard based on its intensity and frequency.*

**Key words:** *Principal Component Analysis, Equamax, Cold waves, Risk.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante los dos últimos decenios, han sido frecuentes los estudios dedicados a analizar los efectos de las variables atmosféricas en la salud humana en los que han sido publicados no pocos trabajos, los cuales han dedicado una atención preferente a los impactos provocados por el calor (SÁEZ, *et al.*, 1995, ALBERDI, *et al.*, 1998, DÍAZ, *et al.*, 2005b, DÍAZ, LINARES y TOBÍAS, 2006, entre otros) y, sobre todo, por las temperaturas extremadamente altas, preocupación que ha acaparado la atención de diversos autores ante los pronósticos y primeras constataciones de un calentamiento general del planeta (IPCC, 2007, KALKSTEIN y GREENE, 1997, KINNEY, *et al.*, 2008, KYSELÝ y HUTH, 2008a). A tal fin se llegaron a

proponer y crear diversos sistemas de alerta y aviso a la población en distintas ciudades del mundo (KALKSTEIN, *et al.*, 1996, MEUSEL, *et al.*, 2004, TAN, *et al.*, 2004, KIM, *et al.*, 2007, NOGUEIRA y PAIXAO, 2008, CHAU, CHAN y WOO, 2009, KALKSTEIN, SHERIDAN y KALKSTEIN, 2009). Dentro de esta línea, el *Servei Meteorològic de Catalunya* (SMC) y el *Departament de Salut* de la *Generalitat de Catalunya*, tras las intensas olas de calor acaecidas los meses de junio y agosto de 2003, elaboraron un estudio con el objetivo de mejorar los umbrales de definición del aviso por *situación meteorológica de riesgo* (SMR) para proceder a su difusión o aviso entre la población. Por otra parte, dada la acusada irregularidad del territorio de la comunidad catalana y los marcados contrastes climáticos entre la franja mediterránea y las comarcas interiores debido a la presencia de las cordilleras litoral y prelitoral, que limitan el influjo del mar a las áreas costeras, debió plantearse una sectorización con el fin de ajustar los avisos destinados a cada uno de los espacios distinguidos.

Con estos antecedentes, se pretende aplicar un procedimiento similar para analizar los posibles efectos de los episodios fríos que, aun cuando se cumplan los pronósticos más pesimistas de cambio climático pronosticados por el (IPCC, 2007), es indudable que ocurrirán en el futuro. De esta manera, tal como indica (HASSI, 2005) y a pesar que el exceso de mortalidad provocada por el calor ha aumentado en los últimos decenios, el número de muertos por frío representa todavía la mayor parte del exceso de mortalidad debido a temperaturas extremas. En los meses invernales puede producir un aumento entre el 5% y el 30% según los países de Europa, incluso en las áreas mediterráneas con inviernos mucho más suaves. A este fin, se procede al análisis estadístico de las observaciones registradas por las Estaciones Meteorológicas Automáticas (EMA) gestionadas por el SMC, con un total de 164 puntos de observación de los que han sido seleccionados los 133 que contienen el menor número lagunas entre los años 2000 y 2008.

## **2. OBJETIVOS**

El objetivo es el análisis del aviso por SMR emitido por el SMC ante un episodio de frío extremo. El estudio se vertebrará en tres módulos, dependientes entre ellos: la determinación de los umbrales por SMR, la sectorización de los umbrales del SMR y el análisis de la peligrosidad del fenómeno. En primer lugar, se pretende una objetivización de los umbrales del SMR. En la actualidad, los umbrales que se utilizan en el aviso han sido identificados de forma totalmente arbitraria, basados en la experiencia del personal por SMC. Para conseguir este objetivo se establecerán unos indicadores bioclimáticos para dar consistencia al umbral. Una vez definidos los umbrales, se utilizarán para una sectorización termométrica del territorio, como ámbito de aplicación del sistema de alerta adoptado. Por último, se analizará una de las dos variables que controlan el riesgo: la peligrosidad. Esta variable mide la frecuencia y la intensidad del fenómeno, dependiendo de la propia dinámica natural, si bien en el caso objeto del análisis puede estar condicionado por determinadas actividades humanas responsables del calentamiento global.

## **3. METODOLOGIA**

### **3.1. Determinación de los umbrales por SMR**

Los umbrales de riesgo se determinarán redefiniendo los niveles de aplicación del SMR por frío. El primer nivel (*Nivel 1*) será definido para la *temperatura mínima extrema*, activándose

cuando esta variable baje por debajo del umbral establecido. Este umbral se establecerá a partir de la relación existente entre la temperatura mínima diaria del observatorio Fabra ubicado en la ciudad de Barcelona y el número de fallecidos diarios en la misma ciudad, para el período comprendido entre 1990 y 2006. De esta manera se consigue marcar un umbral térmico a partir de un análisis totalmente objetivo. El segundo nivel (*Nivel 2*) de SMR será *por ola de frío* y vendrá definido cuando la temperatura mínima diaria baje de manera continuada por debajo del umbral establecido en el Nivel 1 durante un determinado período de tiempo en días. Desde un punto de vista de los efectos sobre la salud no existe un criterio único para la definición de ola de frío, variando éste entre los análisis a partir de la definición de un umbral, la utilización de índices o el análisis de la persistencia de las situaciones meteorológicas (DÍAZ, LINARES y GARCÍA-HERRERA, 2005a).

### **3.2. Sectorización territorial de los avisos de frío emitidos por el SMC**

La metodología elegida ha de contemplar la variabilidad climática que caracteriza el territorio catalán. Por esta razón, se ha utilizado un modelo basado en la estadística multivariante, de tal manera que una reducción de la dimensión de la información original permita la explicación del mayor porcentaje de la variabilidad posible, y que la solución obtenida sea fácilmente interpretable. Se ha elaborado una estructura metodológica desarrollada en tres fases: Cumplimentación de los datos faltantes, un análisis exploratorio, a partir de un Análisis de Componentes Principales (PCA) en modo S para resumir la información original, y un análisis confirmatorio donde se rotarán los factores para una mejor interpretación de los resultados y definir las zonas termométricas en que se divide Cataluña.

### **3.3. Evaluación de la peligrosidad**

La evaluación de la peligrosidad puede darse en tres niveles: temporal, frecuencia-intensidad y espacial. El análisis integrado de estas tres cuestiones constituye un estudio genérico de la evaluación de la peligrosidad.

*La predicción temporal* es la capacidad para poder determinar el momento en el que tendrá lugar el fenómeno y es de vital importancia en la reducción del riesgo a través de los mecanismos de alerta.

*La predicción de la frecuencia de ocurrencia del fenómeno y de su intensidad* se estudia mediante técnicas estadísticas. Para lograr el análisis de este nivel se distinguirán entre los métodos utilizados para determinar la intensidad y los empleados para el estudio de la frecuencia.

*Evaluación de la intensidad:* Se analizará la peligrosidad en base a los umbrales establecidos para los niveles 1 y 2 de la SMR.

*Evaluación de la frecuencia:* se estudia mediante técnicas estadísticas y el objetivo es identificar las zonas de Cataluña donde se ha superado con más frecuencia la SMR por frío. Hay que destacar que para ser coherentes con el modesto período que se trabaja (entre los años 2000 y 2008, ambos incluidos), la frecuencia no se calculará en término de años, sino en término de días, que quizás es más interesante a nivel de cumplir los objetivos planteados, al informarnos del lapso medio en días entre dos episodios y, en consecuencia, el número de veces que se supera el umbral en un año. La metodología se estructura en los siguientes puntos:

1. Para definir el lapso de tiempo en días que puede pasar entre dos acontecimientos de frío extremo que superen el SMR se presenta la siguiente metodología (INUNCAT, 2009):
  - a. Cálculo de un parámetro A que es el número de días de toda la serie de la EMA que ha superado el umbral del SMR.
  - b. Determinación de parámetro, el B, será el número total de días con dato de temperatura mínima extrema de la EMA considerada.
  - c. Por último, cálculo del parámetro C será:  $C = A / B$ , probabilidad que se produzca el evento, cuya inversa,  $1 / C$ , nos da una idea aproximada de cada cuantos días se ha superado el umbral SMR correspondiente.
2. El número de veces que se puede superar el umbral en un año será la media del número de veces que se ha superado el SMR para cada uno de los años.

Por último, para *la evaluación espacial*, los resultados se muestran en forma cartográfica. Se presentarán los mapas resultantes de la evaluación de la frecuencia, el período de retorno en días y el número de veces de superación de la SMR.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Determinación de los umbrales de la SMR

Para definir el umbral de riesgo se relaciona la temperatura mínima y la mortalidad, analizados ambos parámetros a nivel diario. Se ha de tener en cuenta que el efecto del calor sobre la mortalidad es a corto plazo mientras que para el efecto del frío suele ser a más largo plazo, hecho que complica establecer relaciones causa-efecto (DÍAZ, LINARES y GARCÍA-HERRERA, 2005a). Para justificar el retardo existente entre ambas variables, se ha optado por analizar la Función de Correlación Cruzada (FCC) para los meses de invierno (DEFM) entre la temperatura mínima diaria del Observatorio Fabra ( $T_n$ ) y el número diario de difuntos en la ciudad de Barcelona por millón de habitantes entre el periodo de 1990 a 2006 (DIFU). La variable DIFU viene definida por la totalidad de difuntos, hombres y mujeres, causados por enfermedades del sistema circulatorio y enfermedades del sistema respiratorio (Gráfico 1).

Para este fin, la FCC se ha aplicado a los residuales de la  $T_n$  resultantes de la aplicación de una función de transferencia, siendo un modelo ARMA de parámetros 2 y 1 el que mejor ajusta los residuales de  $T_n$  a ruido blanco, consiguiendo así eliminar las componentes de la temperatura (PAJARES, *et al.*, 1997). Este resultado se ha cruzado con DIFU para conseguir la FCC correspondiente. Las correlaciones resultantes son negativas, evidenciando que una disminución de la temperatura produce un aumento en la mortalidad. Además, los retardos son significativos entre el tercero y se alarga hasta el undécimo. El resultado es coherente con los resultados de otros estudios similares que evidencian un exceso de la mortalidad a partir del tercer día para la ciudad de Barcelona (SÁEZ, *et al.*, 1995), y entre 4 y 11 días en función de la causa de la muerte para el área metropolitana de Madrid (ALBERDI, *et al.*, 1998).

El umbral de riesgo para el Nivel 1 de la SMR vendrá determinado por el punto de inflexión más prominente a la izquierda del gráfico 2, que muestra la curva de regresión calculada entre

la  $T_n$  de todos los meses del año y DIFU para el mismo periodo. La distribución de los puntos muestra la típica disposición en forma de V, aspecto que queda descrito por numerosos autores (DÍAZ, LINARES y TOBÍAS, 2006, HUYNEN, *et al.*, 2001), de una U (PAN, LI y TSAI, 1995) o, mejor, de una J escrita al revés (PAN, LI y TSAI, 1995), y que marca el óptimo térmico entre los 15 °C y los 20 °C aproximadamente.

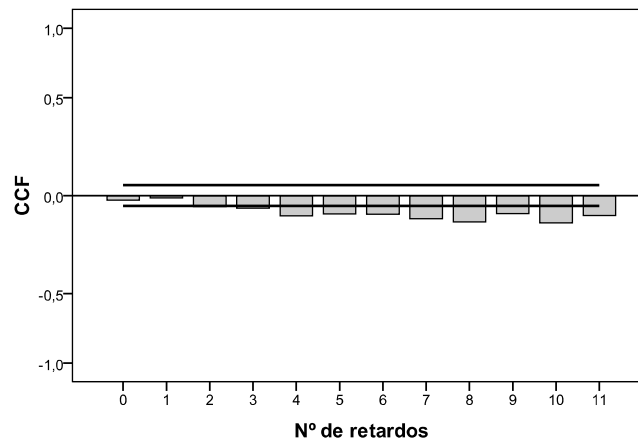


Gráfico 1: Función de correlación entre temperatura y mortalidad total (por millón habitantes)

Para evaluar el impacto del año 2003, se presentan dos gráficos: el gráfico 2(a) muestra la relación entre ambas variables sin contar con el año 2003, mientras que en el gráfico 2(b) se tiene en cuenta este año. Se observa cómo la distribución cambia de manera ostensible. El gráfico 2(a) muestra cómo el predominio de la mortalidad en invierno es evidente, mientras que la 2(b), si bien en cantidad la relación se mantiene, la distribución se equilibra igualando en intensidad la mortalidad entre el invierno y el verano.

El mejor ajuste que se ha encontrado en un suavizador no paramétrico *lowess*, Regresión Local Ponderada (PEÑA y RASO, 2008) con un span ( $\lambda$ ) de 0,1, quedando señalados los principales puntos de inflexión. Estos puntos aparecen marcados con una serie de flechas. En ambas gráficas se observa cómo por debajo de los 15 °C la mortalidad empieza a aumentar de una manera progresiva, a medida que la temperatura desciende hasta los 7,5 °C, a partir de los cuales se estabiliza hasta los 3,0 °C. Por debajo de este umbral la mortalidad se dispara de una manera ostensible, hasta estabilizarse sobre los 2,0 °C y vuelve a dispararse a partir de los 1,5 °C, punto éste que marca el exceso de mortalidad más destacado. Haciendo un análisis de los percentiles de la serie de temperatura mínima para el Observatorio Fabra, resulta que el percentil 2 corresponde a 1,3 °C, que coincide aproximadamente con el punto culminante escogido. Para completar el análisis de la temperatura mínima diaria, en el gráfico 1(b) se analizan las temperaturas mínimas más altas registradas a lo largo del año. A partir de los 19,5 °C aproximadamente hay un primer cambio de pendiente en la curva, y alrededor de los 22,5 °C un segundo cambio más pronunciado. El primer umbral correspondería al límite superior del óptimo térmico y se aproximaría a la definición climática de noche tropical, es decir aquella en que la temperatura mínima no baja de los 20 °C. El segundo umbral correspondería al percentil 98 de la serie de la temperatura mínima anual.

Para la definición del umbral de riesgo del Nivel 2 de la SMR, es decir, el periodo mínimo en días que se ha de mantener el umbral del Nivel 1, se ha de contemplar el fenómeno climático de ola de frío. Se ha optado por coger el umbral mínimo de 3 días al tratarse de un periodo de

compromiso con la bibliografía consultada, donde los periodos pueden variar entre los dos días en el valle medio del Ebro (HERNÁNDEZ, 1994) y los cuatro días en el norte de Catalunya (VILLAR, 1994).

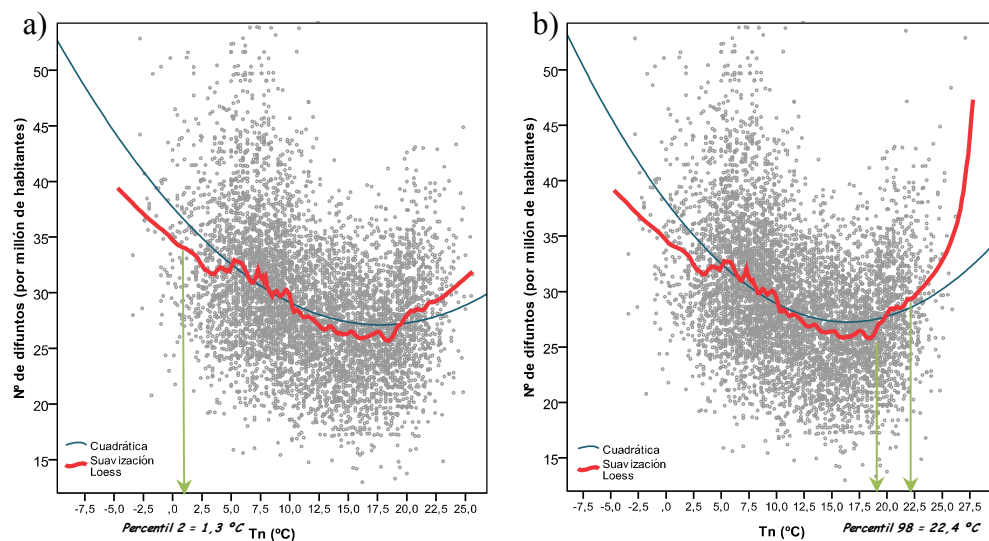


Gráfico 2: Relación temperatura máxima diaria del Observatorio Fabra y el número diario de difuntos (por millón de habitantes) en la ciudad de Barcelona para el período 1990-2006, sin tener en cuenta el año 2003 (izquierda) e incluyendo este año en el análisis (derecha)

#### 4.2. Sectorización territorial de los avisos de frío emitidos por el SMC

El modelo de regresión lineal ha resultado satisfactorio para el *llenado de los vacíos en las series de datos*. Se han reconstruido 4.522 vacíos y cabe destacar que al principio del análisis, de las 133 series utilizadas, 14 estaban completas, 102 tenían menos de un 10% de vacíos, y sólo 17 se encontraban por encima de este umbral.

La matriz objeto de estudio estará diseñada de la siguiente manera. Las variables quedarán ubicadas en las columnas y vendrán definidas por cada una de las 133 EMA consideradas. Los casos se localizarán en las filas, comprenden aquellos días en que la temperatura no ha superado el percentil 2 al menos en una de estas EMA, un total de 114 días. Por lo tanto, el PCA será en modo S, es decir, se trata de un análisis espacial de la variable. Para determinar la conveniencia de la aplicación del modelo multivariante elegido, es decir, del PCA, se ha aplicado el contraste de esfericidad de Barlett y la medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO). Ambos test muestran unos resultados satisfactorios con una  $p < 0,05$  para el primero y un KMO de 0,992 (el índice debe estar en el intervalo 0,5 a 1) para el segundo. Demostrada la conveniencia de aplicar el modelo, se ha utilizado la matriz de correlación para el desarrollo del PCA. La hipótesis inicial para la elección de los componentes que han de definir los distintos sectores termométricos en que se divide Catalunya, se basa en que el mayor número de factores a considerar no debe ser mayor a las 15 zonas climáticas definidas por MARTÍN-VIDE (1992) para Cataluña a partir de criterios termo-pluviométricos. Se ha utilizado el criterio de la raíz latente o autovalor que consiste en la retención de aquellos factores que tengan autovalores superiores a la unidad. Si bien este método es ampliamente utilizado, un número mayor a cincuenta variables analizadas lleva a

una sobreestimación de los factores retenidos. Teniendo en cuenta esta consideración, el resultado final ha sido de once factores que explican el 87% del total de la varianza.

Se ha aplicado una rotación Equamax con normalización KAISER (1958). La rotación Equamax con una previa retención de los factores que tengan un autovalor por encima de 1, da como resultado, a pesar de los once componentes que da la solución inicial, diez componentes significativos, confirmando que el método de la raíz latente sobreestima el número de factores. La tabla 1 sintetiza la información de cada componente, y la figura 1 muestra los resultados de forma cartográfica y el percentil 2 medio para cada zona junto con su desviación típica, parámetros calculados a partir de los percentiles de las estaciones que conforman cada uno de los sectores. Este percentil será el que se aplique para la activación del SMR por frío para cada sector.

PC	Definición sintética	Zonas climáticas (Martín-Vide, 1992)
I	Pirineo	Oceanic, Med. Pir. Occ., Med. Pir. Or.
II	Cuenca del Ebro Norte	Med. Cont. Seco
III	Catalunya Central	Med. Cont. Sub-Hum., Med. Prelitoral Central
IV	Prepirineo Occidental	Med. Prep. Occ., Med. Prep. Or
V	Litoral Sud	Med. Litoral Sud
VI	Prepirineo Oriental	Med. Cont. Hum., Med. Prep. Or, Med. Prelitoral Norte
VII	Conca del Ebro Sur	Med. Cont. Sec, Med. Prelitoral Sud
VIII	Litoral centre-norte	Med. Litoral Central
IX	Litoral centre-sur	Med. Litoral Sud, Med. Prelitoral Sud
X	Litoral Nord	Med. Litoral Norte

Tabla 1: Sectorización territorial de Catalunya. Rotación Equamax. Método de extracción: Autovalor>1

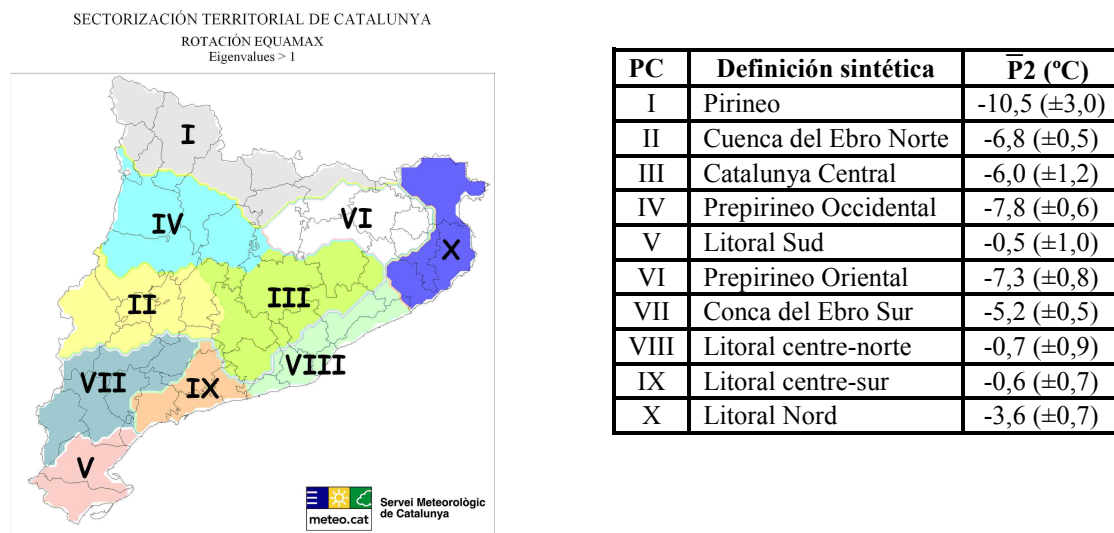


Figura 1: Sectorización territorial de Catalunya. Rotación Equamax. Método de extracción: Autovalor>1

Cabe destacar que el grupo del Pirineo tiene una desviación respecto a la media de  $\pm 3,0$  °C, una variabilidad que se explica por la complejidad del terreno. También presenta una alta variabilidad el grupo que engloba las EMA de la Catalunya Central con una

desviación de  $\pm 1,5$  °C, al quedar agrupadas estaciones con un carácter continental como las ubicadas en el interior de la comarca del Bages hasta las comarcas de influencia más marítima como es la del Penedès. Por último, cabe destacar el grupo del Litoral Sur con una desviación respecto a la media de  $\pm 1,0$  °C. La explicación a la variabilidad se encuentra al quedar enmarcadas las EMA ubicadas en el interior de la comarca del Montsià con unas características térmicas similares a las del grupo de la Cuenca del Ebro, pero quizá de continentalidad no tan marcada y que se podrían calificar a estas estaciones como de transición.

### **4.3. Evaluación de la peligrosidad**

#### *4.3.1. Predicción temporal*

El sistema, que cubre los meses de invierno, funciona a partir del modelo MM5, modelo meteorológico meso-escalar que utiliza el SMC. A partir de este modelo, se compara la salida de la temperatura mínima diaria prevista con el percentil típico para cada zona climática definida en el apartado 4.2. La previsión se realiza para un día (Nivel 1: aviso de temperatura mínima extrema en el caso de superación del umbral), y para los tres días siguientes (Nivel 2: aviso por ola de frío). Al final de la campaña, se realiza una comparación de los avisos de frío emitidos con los datos reales medidos para cada una de las estaciones, con el objetivo de calibrar los resultados.

#### *4.3.2. Análisis de la intensidad y la frecuencia del fenómeno*

##### *4.3.2. a. Análisis de la intensidad*

La distribución espacial del percentil 2 para la temperatura mínima diaria para el periodo DGFM (mapa no mostrado) da un claro gradiente norte-sur y oeste-este, siendo la temperatura más suave a medida que nos acercamos al litoral. Los percentiles por debajo de los  $-16$  °C quedan localizados en las partes más elevadas del Pallars Jussà, el Pallars Sobirà y la Val d'Aran. El resto del Pirineo y del Prepirineo estarían comprendidos entre las isotermas  $-8$  y  $-16$  °C. Entre  $-6$  °C y  $-8$  °C estaría todo el interior de Cataluña. El Prelitoral estaría confinado entre las isotermas  $-2$  °C y  $-6$  °C, siendo la isoterma de  $-2$  °C la que limitaría el litoral del resto de Cataluña, destacando que las conurbaciones urbanas de Barcelona y Tarragona y todo el delta del Ebro el percentil 2 sería positivo.

##### *4.3.2. b. Análisis de la frecuencia*

Para la SMR1, en primer lugar se ha analizado el parámetro 1/C (Figura 2a), definido como el lapso de tiempo medio, en días, entre dos acontecimientos. Se cartografian aquellas zonas que quedan fuera del intervalo medio de días que se espera el percentil 2 (entre los 40 y los 70 días). Es decir, en colores grises claros aparecen cartografiadas aquellas zonas donde el periodo de retorno está por debajo de los 40 días (aproximadamente una vez al mes), mientras que los colores más intensos representan los sectores donde la frecuencia es muy baja (70 días o más, una vez cada dos meses o más). De esta manera, puede aparecer el fenómeno con una frecuencia de un mes en el cuadrante noroccidental del territorio que afecta a las comarcas de la Alta Ribagorça, el Pallars Sobirà y de la Val d'Aran, y las partes más elevadas del Alt Urgell y el Pallars Jussà. Hay otra amplia zona que abarcaría la Cataluña Central y el litoral y el prelitoral



de la demarcación de Girona. La última zona destacada sería algunos puntos del litoral y prelitoral de la demarcación de Tarragona que de forma muy puntual se extendería hacia la plana de Lleida. Por el contrario, por encima de los dos meses de recurrencia se encontraría la conurbación del área metropolitana de Barcelona, exceptuando el Parque Natural de la Sierra de Collserola, y el margen derecho de la desembocadura del Ebro. Por último, se cartografían en la figura 2b aquellas zonas que superen las dos veces al año en cuanto a la excedencia del primer nivel de SMR. Afecta al cuadrante noroccidental del país, Catalunya Central, litoral y prelitoral de la demarcación de Girona, y algunos puntos del litoral y del prelitoral de Tarragona.

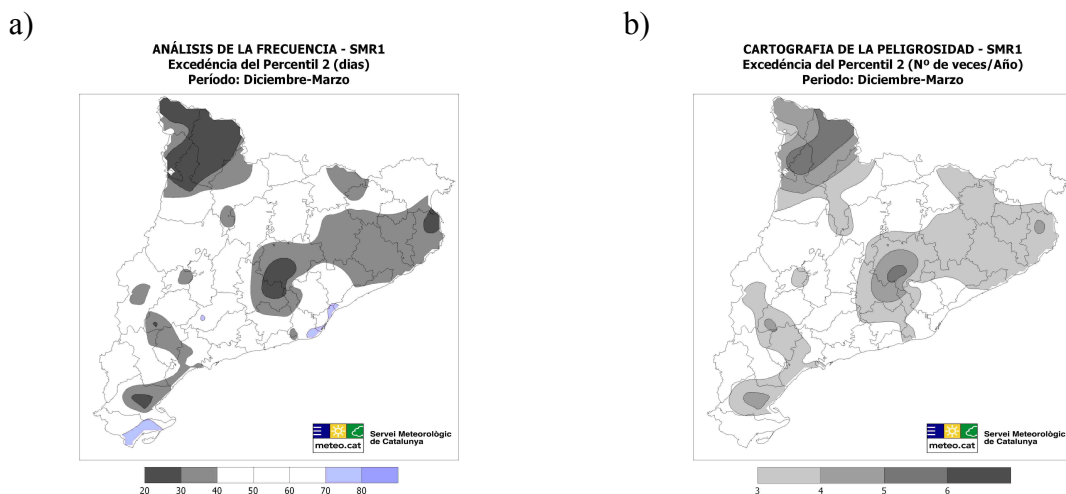


Figura 2: Análisis del parámetro 1/C: lapso de tiempo medio (días) entre dos eventos (izquierda) y excedencia del SMR 1 en número de veces por año.

Para la SMR 2 (mapa no mostrado) se presenta el número de veces que se ha superado el umbral en el período 2000-2008. Interesa destacar que a excepción de puntos del litoral catalán (Costa Brava norte, litoral central y margen derecho de la desembocadura del Ebro), además de puntos del Prepirineo y de la comarca de la Terra Alta, el resto del territorio ha quedado afectado por el fenómeno con más de dos veces, remarcando la Vall Fosca y gran parte de la comarca del Pallars Sobirà donde se ha superado las seis veces.

## 5. CONCLUSIONES

1. Se ha establecido el umbral del percentil 2 de la temperatura mínima diaria de los meses de diciembre, enero, febrero y marzo como óptimo para definir el aviso de SMR por frío, quedando un nivel 1 por temperatura mínima extrema y un nivel 2 de superación del umbral al menos tres días o más (Gráficos 1 y 2).
2. A partir de los datos del percentil 2 de la temperatura mínima diaria se ha zonificado Cataluña en 10 zonas termométricamente diferentes como el ámbito de aplicación de los dos niveles de SMR (Tabla 1 y Figura 1).
3. Se ha presentado el análisis de la peligrosidad del frío en Cataluña, incidiendo en los aspectos que definen esta variable de riesgo: la predicción, la intensidad, la frecuencia y su evaluación espacial (Figura 2). De los resultados obtenidos se

puede observar que las áreas más densamente pobladas, especialmente el litoral, son las zonas menos susceptibles de sufrir un episodio de frío extremo. El análisis se ha elaborado en base a los dos niveles de SMR adoptadas por parte del SMC, y considerando el período que incluye los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. Si bien, los resultados obtenidos del análisis estadístico de la peligrosidad de los datos de temperatura mínima diarias para el período 2000-2008 son coherentes, algunas zonas presentan alguna discrepancia interna en alejarse del periodo óptimo que se situaría entre los 40 y los 70 días. De este modo en la zona del Pirineo, al mezclar dos ámbitos totalmente diferentes, alta montaña y fondo de valles, presenta algunas discrepancias. Las zonas agrícolas de las demarcaciones de Barcelona y de Girona sufren un problema similar. Son zonas muy compartimentadas topográficamente que hace difícil definir un umbral único pero no es conveniente establecer más sectores para la operativa diaria. Este problema desaparece en otras zonas de Cataluña mucho más homogéneas como la plana de Lleida.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado en el dentro del marco del proyecto IPIBEX (CGL2005-07664-C02-01, 2006-2008). Nuestro agradecimiento al *Servei Meteorològic de Catalunya* por la cesión de los datos termométricos utilizados y por el estudio de su posible aplicación en su sistema de alerta de riesgos para la salud en la previsión de episodios de frío extremo.

## 7. REFERENCIAS

- ALBERDI, J. C. *et al.* (1998): "Daily mortality in Madrid community 1986-192: Relationship with meteorological variables". *Eur. J. Epidemiol*, 14, pp.571-578.
- CHAU, P. H., CHAN, K. C. y WOO, J. (2009): "Hot weather warning might help to reduce elderly mortality in Hong Kong". *Int. J. Biometeorol.* 53, pp.461-468.
- DÍAZ, J., LINARES, C. y GARCÍA-HERRERA, R. (2005a): "Impacto de las temperaturas extremas en la salud pública: futuras actuaciones". *Rev. Esp. Salud Pública* 79, pp.145-147.
- DÍAZ, J., GARCÍA, R., LÓPEZ, C., LINARES, C., TOBÍAS, A. y PRIETO, L. (2005b): "Mortality impact of extreme winter temperatures". *Int. J. Biometeorol.* 49, pp.179-183.
- DÍAZ, J., LINARES, C. y TOBÍAS, A. (2006): "Impact of extreme temperatures on daily mortality in Madrid (Spain) among the 45-64 age-group". *Int. J. Biometeorol* 50, pp. 342-348.
- HASSI, J. (2005): "Cold extremes and impacts on health", in KIRCH, W., MENNE, B. y BERTOLLINI, R. (Eds.): *Extreme weather events and public health responses*. Springer, Dresden, 59-67.
- HERNÁNDEZ, M. (1994): "Tipología, génesis y desarrollo de las heladas en el Valle del Ebro". *Geographicalia* 31, pp.95-114.
- HUYNEN, M. T. E. *et al.* (2001): "The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population". *Environ. Health Perspect.* 109(5), pp.463-470.
- INUNCAT (2009): *Pla d'emergència especial per inundacions (INUNCAT)*. Generalitat de Catalunya. <http://www.gencat.cat/interior/esc/docs/INUNCAT.pdf>
- IPCC (2007): The physical science basis. Contribution to working group to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, in SOLOMON, S., *et al.* (Eds.): *Cambridge University Press*.

- KAISER, H.F. (1958): The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis, *Psychometrika* 23, 187-200.
- KALKSTEIN, L. S., JAMASON, P. F., SCOTT-GREENE, J. LIBBY, J. i ROBINSON, L. (1996): "The Philadelphia hot weather-health watch/warning system: development and application, summer 1995". *Bull. Amer. Meteorol Soc.* 77(7), pp.1519-1528.
- KALKSTEIN, L. S. y GREENE, J. S. (1997): "An evaluation of climate/mortality relationships in large U. S. cities and the possible impacts of a climate change". *Environ. Health Perspect.* 105(1), pp. 84-93.
- KALKSTEIN, L. S., SHERIDAN, S. C. y KALKSTEIN, A. J. (2009): Heat/health warning systems: development, implementation, and intervention activities, in EBI, K. L., BURTON, I. y MCGREGOR, G. R. (Eds.): *Biometeorology for adaptation to climate variability and change*. Springer-Verlag, New York, pp. 33-47.
- KIM, J. *et al.* (2007): "The weather with/warning system for stroke and asthma in South Korea". *Int. J. Env. Health Res.* 18(2), pp.117-127.
- KINNEY, P. L., O'NEIL, M. S. y SCHWARTZ, J. (2008): "Approaches of estimating effects of climate change on heat related deaths: challenges and opportunities". *Environ. Science Policy* 11, pp.87-96.
- KYSELÝ, J. y HUTH, R. (2008): "Relationships of surface air temperature anomalies over Europe to persistence of atmospheric circulation patterns conducive to heat waves". *Advances in Geosciences* 14, pp.243-249.
- MARTÍN-VIDE, J. (1992): El Clima. *Geografía General dels Països Catalans*. Enciclopèdia Catalana, Barcelona.
- MEUSEL, D., MENNE, B. KIRCH, W. y BERTOLLINI (2004): "Public health responses to extreme weather and climate events -a brief summary of the WHO meeting on this topic in Bratislava on 9-10 February 2004". *J. Pub. Health*, 12:371-381.DOI 10.1007/S10389-004-0068-8.
- NOGUEIRA, P. y PAIXAO, E. (2008): "Models for mortality associated with heat waves: update of the Portuguese heat health warning system". *Int. J. Climatology.* 28, pp. 545-562.
- PAJARES, M. S., JIMÉNEZ, J. D., MONTERO, J. C., ALBERDI, J. C. y MIRÓN, I. J. (1997): "Mortalidad diaria en la comunidad de Madrid (1986-1991) para el grupo de 45 a 64 años: su relación con la temperatura del aire". *Revista Española de Salud Pública* 71(2), pp.149-160.
- PAN, W. H., LI, L. A. y TSAI, M. J. (1995): "Temperature extremes and mortality from coronary heart disease and cerebral infarction in elderly Chinese".*Lancet* 345(8946), pp.353-355.
- PEÑA, J. C. y RASO, J. M. (2008): Sectorización territorial de los avisos de calor emitidos por el Servei Meteorològic de Catalunya. Aplicación de un análisis en componentes principales a la temperatura máxima diaria, in SIGRÓ, J., BRUNET, M. y AGUILAR, E. (Eds.): *Cambio climático regional y sus impactos*. Asociación Española de Climatología, Tarragona, 401-412.
- SÁEZ, M., SUNYER, J., CASRTELLSAGUÉ, J. MURILLO, C. y ANTÓ, J. M. (1995): "Relationship between weather temperature and mortality a time analysis approach in Barcelona". *Int. J. Epidemiol.* 24, pp. 576-582.
- TAN, J. KALKSTEIN, L. S., HUANG, J., LIN, S., YIN, H., SHAO, D. (2004): "An operational heat/health warning system in Shanghai". *Int. J. Biometeorol.* 48, pp.157-162.
- VILLAR, F. (1994): "Análisis de las olas de frío durante el período internacional 1961-90 en Cabdella (Pirineo Catalán). Una aplicación metodológica". *Perfiles actuales de la geografía cuantitativa en España.* p 227-237.