

PREDICCIÓN PROBABILÍSTICA DE TEMPERATURAS MÍNIMAS EN LA ZONA COSTERA Y PRELITORAL CATALANAS

J. L. Camacho¹, G. Fernández Mills², M. Hernanz² y C. Hervada²

Introducción

El objetivo de este trabajo es la predicción de la temperatura mínima en las zonas costera y prelitoral catalanas. Para ello se ha aplicado el análisis discriminante de Fisher de dos parámetros a 28 estaciones meteorológicas (Tabla 1) repartidas en estas regiones. Se han considerado 4 estaciones piloto distintas en las que se determinan los parámetros predictores de cara al pronóstico. La elección de aquéllas se ha realizado de forma que cada una de ellas permita la previsión de la temperatura mínima de los puntos de medición más próximos geográfica y meteorológicamente.

Como se sabe, las zonas costera y prelitoral catalanas son las más densamente pobladas y en ellas se practica la agricultura intensiva, cuyos productos pueden resultar seriamente dañados por las heladas imprevistas. Por esto se hace imprescindible predecir la temperatura mínima con cierto margen de fiabilidad y, con ello, el riesgo de helada. En todo momento se ha pretendido que dicho modelo fuese operativo para un servicio meteorológico que, de hecho, es el responsable de cualquier pronóstico referente al tiempo.

Fundamentos

El análisis discriminante de Fisher empieza por clasificar las temperaturas mínimas registradas en la estación que se estudia por grupos, según su valor. Se trata a continuación de obtener, para la estación en la que se desea realizar el pronóstico, una función llamada "función discriminante" lineal en los parámetros predictores, así:

$$Z_t^i = \sum_{p=1}^N \lambda_p x_{pt}^i \quad (a)$$

En la ecuación anterior, el superíndice i hace referencia a un elemento (en este caso una temperatura mínima) del grupo t y p es el índice que corresponde a cada parámetro predictor, que es una variable meteorológica. La función dada por (a) debe ser tal que, al descomponer la varianza total T en suma de la varianza entre tipos E , y la varianza residual dentro de los tipos R , resulte máxima E y mínima R , esto es, máximo su cociente $G = E/R$. En consecuencia, los coeficientes λ_p de (a) se obtendrán imponiendo la condición de extremo para la función G :

$$\delta G / \delta \lambda_p = 0 \quad (b)$$

Ello conduce a la resolución de un sistema de ecuaciones lineales en el cual las incógnitas son los coeficientes λ_p . El sistema es homogéneo y contiene tantas ecuaciones como parámetros incógnita λ_p . Para que la solución no sea la trivial, se impone la condición de que el determinante del sistema sea nulo. Esto nos permitirá resolver una ecuación de grado N en G , siendo N el número de parámetros predictores escogidos. Di-

1. Centro Meteorológico Zonal de Barcelona. Instituto Nacional de Meteorología. C. Roura 9, 08017 Barcelona.
2. Departamento de Física. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. Avda. Diagonal 647, 08028 Barcelona.

TABLA 1

Número	Estación	Número	Estación
1	Figueres	15	Vimbodí
2	L'Estartit	16	Sarral
3	Begur	17	Foix
4	Blanes	18	Gelida
5	Mataró	19	Begues
6	A. Barna.	20	Montserrat
7	El Prat	21	Barna. Fabra
8	Vilaseca	22	A. Sabadell
9	Reus Base	23	Caldes de M.
10	Cambrils	24	Granollers
11	El Perelló	25	Cardedeu
12	Tortosa	26	Llinars
13	Flix	27	A. Girona
14	Montblanc	28	Castellfollit

Tabla 1.—Relación de las estaciones consignadas en el mapa con sus números correspondientes.

cha ecuación tendrá N raíces G de las cuales se tomará la mayor. El valor contenido de G se sustituye en el sistema de ecuaciones lineales, lo cual permitirá, fijando un valor para cada una de las λ_p , hallar los otros. Conocidos los coeficientes λ_p de la estación con la que se trabaja, se obtiene así su función discriminante.

$$Z = \sum_{p=1}^N \lambda_p x_p$$

siendo x_p el predictor de índice p . Se calcula, entonces, el valor que toma dicha función para todos los elementos de cada grupo (temperaturas mínimas) consignándose a continuación. Se determina posteriormente la función de distribución de frecuencias acumuladas de los valores de Z en cada grupo. A partir de ella se podrá, dado un valor de Z , obtener la probabilidad de pertenencia de la temperatura mínima que se intenta pronosticar a cada uno de los grupos que se han considerado.

Aplicación

Para la aplicación del análisis discriminante a nuestro caso hemos tomado como predictores la temperatura y la humedad relativa a las 18,00 TMG en 4 estaciones piloto que son, Aeropuerto de Girona-Costa Brava, Aeropuerto de Barce-

lona, Base Aérea de Reus y Observatorio del Ebro de Tortosa, todas ellas pertenecientes a la red sinóptica del Instituto Nacional de Meteorología. El valor de la temperatura en el ocaso es uno de las variables que influyen en el enfriamiento nocturno, lo que hace adecuada su elección. Como se sabe, el estado higrométrico de la atmósfera condiciona asimismo las variaciones de la temperatura nocturna, por lo que la inclusión de un índice de humedad nos ha parecido indispensable. Por ello, nuestro segundo predictor será la humedad relativa a las 18,00 TMG. Existen, sin duda, otras variables meteorológicas, como la nubosidad y el viento, que pueden repercutir decisivamente en el enfriamiento nocturno. La inclusión de parámetros que hagan referencia a estas últimas variables se deja para trabajos posteriores.

Base de datos

Al ser una de las finalidades de este estudio la predicción de heladas, se ha tomado como base empírica de datos la correspondiente a los períodos invernales del intervalo 1972-1981 y del año 1985. De este modo se dispone de una serie ininterrumpida de datos de 10 años y de los pertenecientes a un año en el que se produjeron heladas excepcionalmente intensas.

La red de estaciones termopluviométricas de las zonas litoral y prelitoral de Cataluña se ha dividido en 4 áreas geográficas distintas, a saber:

- i) El litoral septentrional, de clima mediterráneo: abarca las comarcas costeras de Girona. La estación piloto correspondiente a dicha área es la existente en el aeropuerto de Girona.
- ii) El litoral central, de clima mediterráneo menos expuesto a los vientos del norte: abarca las comarcas costeras de Barcelona. La estación piloto correspondiente a dicha área es la del aeropuerto de Barcelona.
- iii) El litoral meridional, de clima mediterráneo algo más seco y expuesto a los vientos del noroeste: abarca las comarcas costeras de Tarragona y las estaciones piloto son las de Tortosa y Reus.
- iv) El prelitoral, de clima mediterráneo con cierta tendencia a la continentalidad: abarca todas las comarcas catalanas que se hallan en la depresión prelitoral. Esta región tiene 3 estaciones piloto ubicadas en el aeropuerto de Girona, Reus y Tortosa.

Se han clasificado las temperaturas mínimas en 4 grupos según su valor. La división efectuada depende del área geográfica a la cual pertenece cada estación; así:

Areas	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
i, ii, iii	$T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C} < T_{\min} < 5^{\circ}\text{C}$	$5^{\circ}\text{C} < T_{\min} < 8^{\circ}\text{C}$	$8^{\circ}\text{C} < T_{\min}$
iv	$T_{\min} < -4^{\circ}\text{C}$	$-4^{\circ}\text{C} < T_{\min} < 0^{\circ}\text{C}$	$0^{\circ}\text{C} < T_{\min} < 4^{\circ}\text{C}$	$4^{\circ}\text{C} < T_{\min}$

Comentarios de los resultados y conclusiones

Con la finalidad de comprobar el modelo se ha comparado la temperatura mínima registrada, extraída de la propia base de datos, con el grupo previsto en todas las estaciones para unas cuantas noches. Algunos de estos resultados están consignados en las tablas 2, 3, 4 y 5. Posteriormente se ha realizado la previsión para dos noches en las que se decidió poner en práctica el método de pronóstico. Se telefoneó a los obser-

vadores de las estaciones piloto pidiéndoles los datos de las 18,00 TMG de los días correspondientes. Los resultados se presentan en la tabla 6. En la figura 1 aparecen representadas las estaciones que se han estudiado. Se han escogido al azar unos cuantos días de los muchos considerados para probar el modelo. En ellos se puede observar que para las noches típicamente invernales, con pantano barométrico en superficie y cielos despejados, y, en general, para las noches en las que no se ha producido cambio de masa de aire, el modelo da resultados satisfactorios. La mayoría de los casos estudiados corresponden a este tipo de situaciones. Los pronósticos efectuados para Tortosa y Reus no son del todo correctos sobre todo en situaciones en las que predominan los vientos de componente norte. Esto era, en principio, de esperar ya que estas estaciones están expuestas, debido a la orografía de su entorno, a los misticrales y tramontanas. El resto de estaciones, al encontrarse a sotavento de montañas, se ven menos afectadas por la acción del viento. Ello explicaría el que la elección, para éstas, de dos parámetros predictores que den cuenta de la temperatura en el ocaso y del estado higrométrico a esa misma hora parece suficiente. No ocurre lo mismo en las estaciones del área tarraconense donde la influencia del viento puede, en muchos casos, ser dominante. En trabajos posteriores pretendemos

incluir además una velocidad media del viento y su dirección como predictores. Lo cual, estamos seguros, contribuirá a mejorar los pronósticos en el litoral meridional de Cataluña.

Agradecimientos

Deseamos manifestar nuestro más profundo agradecimiento al Centro Meteorológico Zonal de Barcelona del Instituto Nacional de Meteorología que en todo momento nos ha brindado

TABLA 2

Días	Estaciones					
	L'Estartit		Blanes		Mataró	
	T _{mr}	Grupo prev.	T _{mr}	Grupo prev.	T _{mr}	Grupo prev.
5-3-74	0	1	3	2	3	2
21-3-74	11	4	11	4	13	4
5-1-81	5,1	2	8	2	8	3
21-1-81	7,7	3	8	3	6	3
5-2-81	6,1	3	4,5	3	4	2
21-2-81	0	1	2,5	2	0	1
5-3-81	5,6	3	10	4	8	3
21-3-81	9,1	4	11	4	12	4

TABLA 3

Días	Estaciones					
	A. Barna.		Reus Base		Tortosa	
	T _{mr}	Grupo prev.	T _{mr}	Grupo prev.	T _{mr}	Grupo prev.
5-3-74	0	1	3	1	3	1
21-3-74	12	4	7,4	4	0	2
5-1-81	4,6	2	6	3	5	3
21-1-81	5,4	2	7	4	5,2	4
5-2-81	5,2	2	7	3	4,7	2
21-2-81	-1	1	-3	1	4,4	1
5-3-81	5	3	3,8	3	8,4	3
21-3-81	11	4	9	4	4	4

Tablas 2 y 3.—Resultados que da el modelo para las estaciones del área costera que se indican. T_{mr} simboliza la temperatura mínima registrada en grados centígrados y los indicativos de los grupos previstos corresponden a los establecimientos para las áreas i, ii y iii.

TABLA 4

Días	Estaciones					
	A. Girona		A. Sabadell		Gelida	
	T _{mr}	Grupo prev.	T _{mr}	Grupo prev.	T _{mr}	Grupo prev.
5-3-74	-4	1	-5	1	2,1	2
21-3-74	10	4	11	4	12	4
5-1-81	-1	2	-2	2	2,5	3
21-1-81	1,2	3	0	3	6,7	4
5-2-81	-1	3	-3	2	4,2	3
21-2-81	-4	1	-7	1	-2	2
5-3-81	1,8	3	0	3	4,4	4
21-3-81	9,4	4	6	4	7,7	4

Tablas 4 y 5.—Resultados que da el modelo para las estaciones del área prelitoral que se indican. T_{mr} simboliza la temperatura mínima registrada en grados centígrados y los indicativos de los grupos previstos corresponden a los establecidos para las áreas iv.

TABLA 5

Días	Cardedeu		Estaciones Caldes de Mont.		Montserrat	
	Tmr	Grupo prev.	Tmr	Grupo prev.	Tmr	Grupo prev.
5-3-74	-2	2	-5	1	-2	2
21-3-74	10	4	4,4	4	8	4
5-1-81	0,3	2	0	2	2	3
21-1-81	2	3	1	3	6	3
5-2-81	0	3	-2	2	3	3
21-2-81	-5	1	-6	1	-4	1
5-3-81	3,2	4	2,5	3	5	4
21-3-81	9,5	4	7	4	8	4

TABLA 6

Estaciones	Area	Días			
		30-1-87		20-2-87	
		Tmr	Grupo prev.	Tmr	Grupo prev.
L'Estartit	i	7,5	4	0	1
Blanes	i	9	4	0	1
Mataró	ii	8,4	4	-1	1
A. Barna.	ii	7,6	4	-4	1
Reus Base	iii	7	4	0	1
Tortosa	iii	9,5	4	1,5	1
A. Girona	iv	6,6	4	-3	1
A. Sabadell	iv	6	4	-4	1
Gelida	iv	7,5	4	-3	1
Cardedeu	iv	6,7	4	—	—
Caldes	iv	7,5	4	-6	1
Montserrat	iv	5,5	4	-4	1

Tabla 6.—Resultados que da el modelo para todas las estaciones consideradas. Corresponden a un día templado y a uno con entrada de aire frío.

su inestimable colaboración poniendo a nuestra disposición los datos de temperatura de la red de estaciones de Cataluña.

Nuestra más sincera gratitud a don José María Baldasano y al Departament de Medi Ambient de la Generalitat de Cataluña que nos ha proporcionado información adicional. Finalmente, haremos constar el apoyo recibido por nuestros compañeros del Departamento de Física de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona.

Bibliografía

- ALTHER, J. D., et al. (1982): "Prévision objective des hauters de précipitation et de l'ensoleillement relatif au moyen de l'analyse discriminante". Instituto suizo de meteorología.
- FISHER, R. A. (1946): "Statistical methods for research workers". Edinborough.
- FONTSERE, E. (1937): "L'anomalia térmica de Vic." *Servei meteorològic de Catalunya. Memòries*, vol. I, n.º 1, 40 p. 15 fig.
- PEINADO, A. y C. ALMARZA. (1983): "Predic-



Figura 1.—Localización geográfica de las estaciones estudiadas.

ción probabilística de fenómenos meteorológicos cuantificados con una base empírica”.

Revista de meteorología. A.M.E.

RIOS, S. (1971): “Métodos estadísticos”. Madrid

Resumen

Se ha desarrollado un modelo de pronóstico de temperaturas mínimas basado en el análisis

discriminante de Fisher de dos predictores, escogidos entre las variables meteorológicas más representativas del enfriamiento nocturno. Se exponen los resultados obtenidos para algunas noches en unas determinadas estaciones de las áreas costera y prelitoral catalanas. Las predicciones son satisfactorias para noches sin cambio de masa de aire y en zonas resguardadas de tramontanas y misticrales.