

INTERPOLACIÓN ESPACIAL DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA MEDIANTE KRIGEADO UNIVERSAL

Andrés Chazarra Bernabé

Agencia Estatal de Meteorología, Leonardo Prieto Castro 8, 28071 Madrid,
achazarrab@aemet.es

Introducción

La interpolación espacial de datos diarios de temperatura resulta un problema complejo en comparación con la interpolación de temperaturas promediadas en periodos de tiempo más largos, como meses o años. Los métodos que habitualmente se utilizan de forma satisfactoria con temperaturas mensuales o anuales a menudo no funcionan correctamente cuando se aplican a valores diarios, debido a la dificultad de tratar los fenómenos locales que afectan a la temperatura, especialmente las inversiones térmicas. Las zonas más sensibles a estos fenómenos son las regiones montañosas, en las que el relieve favorece que las inversiones térmicas sean más marcadas y persistentes que en zonas llanas próximas (Barry, 2008).

En el presente trabajo se muestran los resultados obtenidos al interpolar espacialmente temperaturas mínimas diarias en España empleando un krigeado universal con la altitud y la distancia al mar como variables externas. La ventaja de este método frente a otros radica en que permite considerar un gradiente térmico vertical variable en el espacio, facilitando el tratamiento de las inversiones en el proceso de interpolación.

Los resultados se comparan visual y numéricamente con los que se obtienen con otros métodos habituales como son la regresión con la altitud con krigeado de los residuos, el krigeado ordinario y la inversa de la distancia.

Zona de estudio y metodología

La zona de estudio comprende el territorio peninsular español y las Islas Baleares, escogiendo un tamaño de celda de 1x1km. Como datos se utilizaron las temperaturas mínimas diarias del año 2012 de la red de estaciones climatológicas de AEMET, cuya localización está representada en la figura 1. A pesar del número relativamente elevado de estaciones, unas 1700, su distribución no es homogénea en toda la zona de estudio, resultando en general baja en las regiones montañosas. Además, en estas zonas la mayoría de las estaciones se

encuentran en el fondo de los valles, siendo escasos los observatorios situados en altitudes elevadas.

El método más frecuentemente empleado para interpolar la temperatura actualmente es el krigeado con regresión (Dodson and Marks, 1997), denominado en la literatura anglosajona *regresión kriging* (RK). Consiste en aplicar un modelo de regresión lineal entre la temperatura y una o varias variables externas, entre las que se encuentra normalmente la altitud, sumando al campo resultante los residuos interpolados mediante un krigeado ordinario. El krigeado con regresión proporciona en general buenos resultados al trabajar con temperaturas medias mensuales o anuales. Sin embargo, presenta la limitación de considerar un único gradiente vertical de temperatura para toda la zona de estudio, por lo que a menudo es incapaz de tratar adecuadamente las inversiones térmicas, especialmente cuando se aplica a zonas relativamente grandes, de varios cientos de kilómetros cuadrados de extensión, como en el presente estudio.

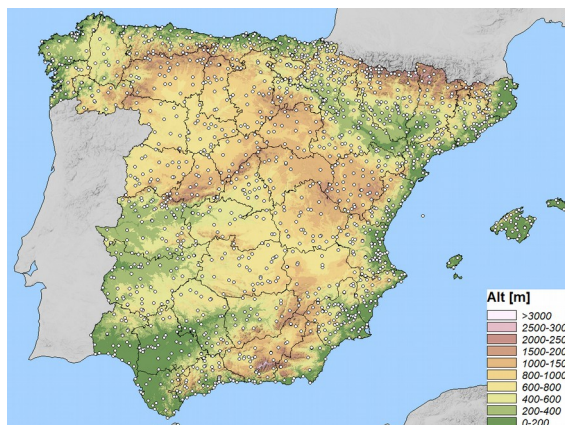


Fig. 1.- Localización de las estaciones utilizadas y zona de estudio considerada.

Como alternativa al anterior método, en el presente trabajo se ha utilizado un krigeado universal (*universal kriging*, UK) con la altitud y la distancia a la costa como variables externas. Este método también es conocido como krigeado con deriva externa (*kriging with external drift*, KED).

Uno de los estudios pioneros en aplicar un kriging universal a la temperatura fue el de Hudson y Wackernagel, en el cual interpolaron datos de temperaturas medias mensuales en Escocia considerando la altitud como variable externa (Hudson y Wackernagel, 1994). Desde entonces, se ha empleado de forma creciente para interpolar desde temperaturas medias anuales y mensuales (Benavides et al., 2007) hasta valores diarios y horarios de temperatura (Jabot et al., 2012). También se ha utilizado satisfactoriamente con otras variables climáticas, principalmente con precipitaciones mensuales y anuales (Majani, 2007, AEMET, 2012).

La ventaja que presenta el kriging universal frente al kriging con regresión para el caso de temperaturas diarias es que la relación de la variable con las variables externas no se estima en un proceso de calibración o de regresión previo sino en el propio kriging (Goovaerts, 1997), por lo que puede variar de unos puntos a otros del espacio. De esta forma, permite aplicar una correlación positiva, nula o negativa con la altitud de forma simultánea en diferentes regiones dentro de la zona de estudio.

Además de la altitud, se incluyó la distancia a la costa como segunda variable externa para tener en cuenta el efecto de la continentalidad en las temperaturas mínimas y mejorar la representación del campo de temperaturas en zonas cercanas al mar.

Resultados

Se generaron por el procedimiento descrito los campos de temperatura mínima diaria correspondientes a los 366 días del año 2012, empleando el sistema de información geográfica libre SAGA GIS en línea de comandos para automatizar el proceso.

Con el objeto de comparar los resultados con los que se obtienen con otros métodos de interpolación habituales, se generaron también los campos de temperatura mínima diaria aplicando un kriging con regresión (RK) con la altitud y la distancia a la costa, un kriging ordinario (*ordinary kriging*, OK) y una inversa de la distancia (*inverse distance*, ID).

A continuación, se realizó una comparación visual de los mapas obtenidos con los métodos anteriores en diferentes épocas del año.

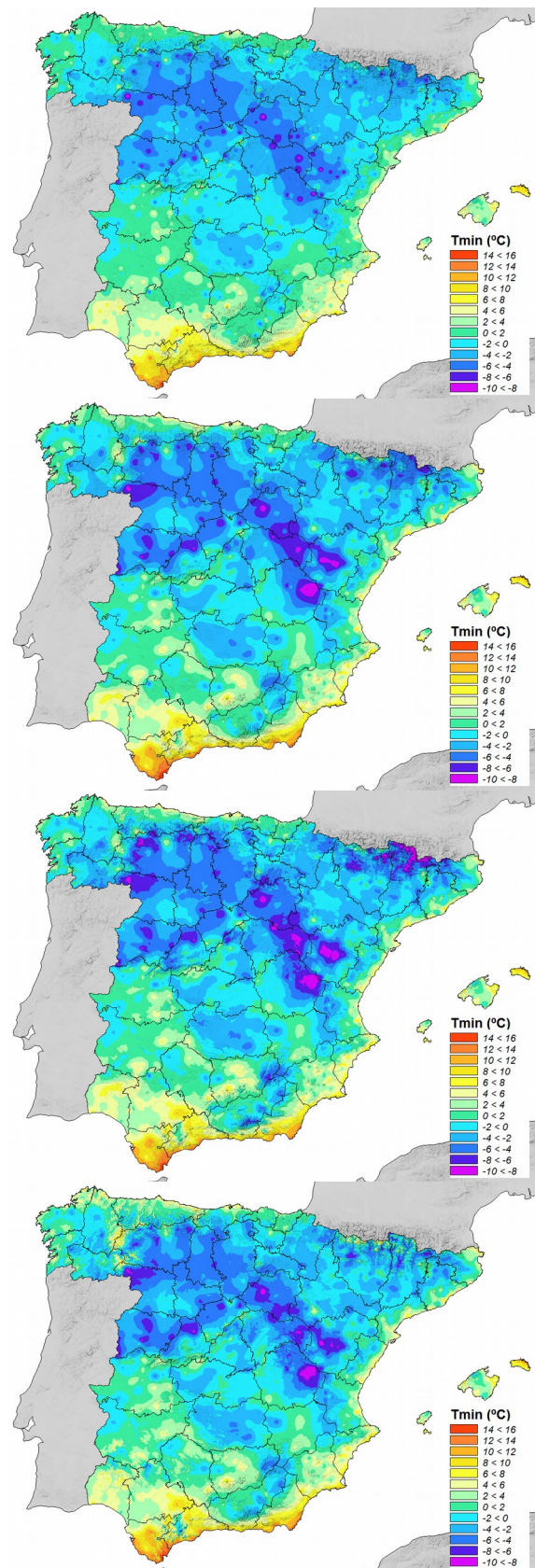


Fig. 2.- Campos de temperatura mínima del día 10 de enero de 2012 obtenidos por los cuatro métodos estudiados: ID, OK, RK y UK, respectivamente.

La inversión térmica no queda adecuadamente representada en ninguno de los dos mapas, como era de esperar al no haber utilizado la altitud en las interpolaciones.

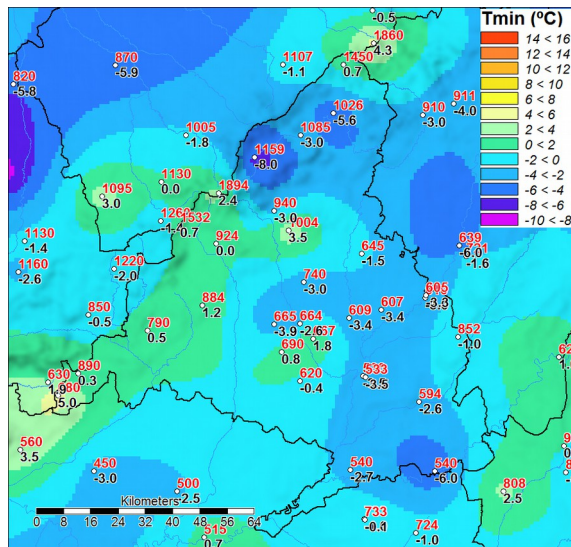


Fig. 5.- Ampliación centrada en la zona de la Comunidad de Madrid del campo de temperatura mínima del día 10 de enero de 2012 obtenido por el método de krigeado ordinario (OK).

El krigeado con regresión (fig. 6) tiene en cuenta la altitud pero, al aplicar un modelo en el que la temperatura mínima desciende al aumentar la altitud, la inversión térmica no resulta bien representada. Vemos que en las cimas de las montañas que enmarcan el Valle Alto del Lozoya se estiman los valores más bajos, de unos -8°C , cuando serían de esperar temperaturas superiores a las del fondo del valle.

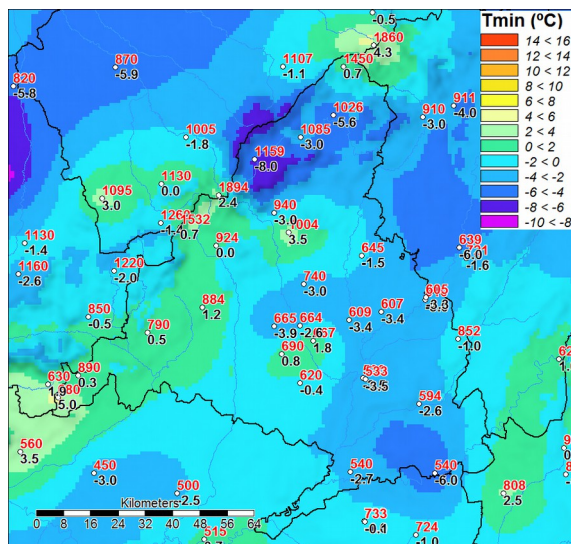


Fig. 6.- Ampliación centrada en la zona de la Comunidad de Madrid del campo de temperatura mínima del día 10 de enero de 2012 obtenido por el método de regresión con krigeado de los residuos (RK).

Por último, el krigeado universal (fig. 7) pone de manifiesto la existencia de una correlación positiva de la temperatura mínima con la altitud en la zona, estimando valores de temperatura superiores en las cimas de las montañas que en los valles. Como resultando, se obtiene una representación gráfica que pone de manifiesto el fenómeno de inversión térmica presente en la zona analizada.

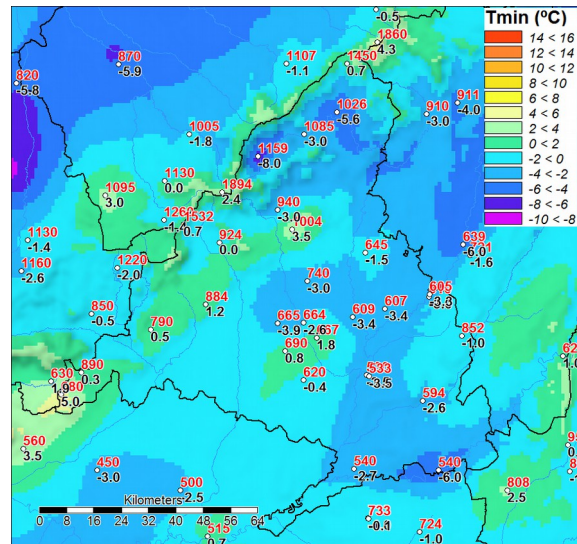


Fig. 7.- Ampliación centrada en la zona de la Comunidad de Madrid del campo de temperatura mínima del día 10 de enero de 2012 obtenido por el método de krigeado universal (UK).

Validación

Con el objeto de estimar y comparar el error cometido con cada uno de los métodos, se reservó un subconjunto con el 25% de los datos, seleccionado de forma aleatoria y se repitió el proceso de interpolación con el 75% restante para cada uno de los 366 días del año 2012.

	R	MEA	RECM
KU anual	0.865	1.402	1.444
RK anual	0.858	1.441	1.483
KO anual	0.858	1.437	1.480
ID anual	0.859	1.424	1.468

Tabla 1.- Resumen de la validación de la temperatura mínima diaria de los 366 días del año 2012.

En la tabla 1 se muestra el resumen anual de los estadísticos obtenidos con cada uno de los cuatro métodos, siendo R el coeficiente de correlación entre los valores estimados y los observados, MEA la media del error absoluto (en $^{\circ}\text{C}$) y RECM la raíz del error cuadrático (en $^{\circ}\text{C}$). Vemos que el error medio de las estimaciones es ligeramente superior a $1,4^{\circ}\text{C}$ en los cuatro métodos, resultando el krigeado universal el método que ofrece mejores resultados en los tres estadísticos calculados.

Se calcularon también los estadísticos agrupados por estaciones del año (ver tabla 2) para analizar posibles diferencias en las distintas épocas del año.

Nuevamente, el krigeado universal proporciona los mejores resultados en todas las estaciones del año. Se observa que las estimaciones son en general mejores en otoño y primavera que en verano e invierno, siendo el invierno la época del año que presenta un error mayor.

	R	MEA	RECM
KU inv	0.854	1.513	1.555
RK inv	0.851	1.527	1.569
KO inv	0.849	1.537	1.581
ID inv	0.845	1.530	1.575
KU prim	0.854	1.357	1.402
RK prim	0.845	1.410	1.453
KO prim	0.846	1.405	1.448
ID prim	0.847	1.393	1.434
KU ver	0.883	1.392	1.434
RK ver	0.875	1.438	1.480
KO ver	0.877	1.427	1.468
ID ver	0.882	1.406	1.448
KU oto	0.869	1.347	1.387
RK oto	0.860	1.388	1.428
KO oto	0.862	1.381	1.422
ID oto	0.861	1.369	1.413

Tabla 2.- Resultados de la validación por estaciones del año.

Los resultados de la validación son similares a los obtenidos por Jabot en los Alpes Franceses con datos horarios de temperatura (Jabot et al., 2012).

Conclusiones

De las pruebas realizadas con datos de temperatura mínima diaria en la España Peninsular y Baleares se concluye que el krigeado universal con la altitud y la distancia a la costa como variables externas es, de los métodos analizados, el que proporciona mejores resultados, como pone de manifiesto el proceso de validación llevado a cabo.

Además, del análisis visual de situaciones de inversión térmica, se concluye que es un método mejora sensiblemente la representación del campo de temperatura mínima diaria en situaciones de inversión térmica.

No obstante, conviene tener en cuenta que aunque este método funciona generalmente bien en zonas con densidades altas o medias de datos, en regiones con densidades muy bajas de datos o con existencia de datos anómalos puede dar lugar a extrapolaciones claramente exageradas (Hudson y Wackernagel, 1994).

Referencias

Agencia Estatal de Meteorología e Instituto de Meteorología de Portugal (2011). *Atlas Climático Ibérico*. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Agencia Estatal de Meteorología e Instituto de Meteorología de Portugal (2012). *Atlas Climático de los Archipiélagos de Canarias, Madeira y Azores*. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Barry, R.G. (2008). *Mountain Weather and Climate*. Cambridge University Press, Cambridge, UK

Benavides, R., Montes, F., Rubio, A. and Osoro, K. (2007). *Geostatistical modelling of air temperature in mountainous region of northern Spain*. *Agricultural & Forest Meteorology* 146: 173-188.

Dodson, R. and Marks, D. (1997). *Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region*. *Journal: Climate Research*, vol. 8, pp. 1-20.

Eskelson, B.N.I., Anderson, P.D., Hagar, J.C. and Temesgen, H. (2011). *Geostatistical modeling of riparian forest microclimate and its implications for sampling*. *Canadian Journal of Forest Research* 41:974-985.

Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for Natural Resources*. Oxford University Press.

Jabot, E., Zin, I., Lebel, T., Gautheron, A. and Obled, C. (2012). *Spatial interpolation of sub-daily air temperatures for snow and hydrologic applications in mesoscale Alpine catchments*. *Hydrol. Process.*, 26: 2618–2630. doi: 10.1002/hyp.9423

Hudson, G. and Wackernagel, H. (1994). *Mapping temperature using kriging with external drift: Theory and an example from Scotland*. *Int. J. Climatol.*, 14: 77–91. doi: 10.1002/joc.3370140107

Majani, B.S. (2007). *Analysis of external drift kriging algorithm with application to precipitation in complex orography*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation Enschede, The Netherlands.