

Aportaciones a la modelización cartográfica del clima: influencia marítima e información de sensores remotos. Resultados preliminares.

M. Ninyerola⁽¹⁾, J. Cristóbal^(1,2), X. Pons^(2,3), M. Pla⁽⁴⁾ y M. Torres⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Dep. Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología, Universidad Autónoma de Barcelona (Campus Bellaterra). Cerdanyola del Vallès. miquel.ninyerola@uab.es, jordi.cristobal@uab.es

⁽²⁾ Dep. de Geografía, Universidad Autónoma de Barcelona (Campus Bellaterra). Cerdanyola del Vallès.

⁽³⁾ Centre de Investigació Ecològica y Aplicaciones Forestales (CREAF), Universidad Autónoma de Barcelona (Campus Bellaterra). Cerdanyola del Vallès. xavier.pons@uab.es

⁽⁴⁾ Agència Catalana de l'Aigua, Dep. de Medio Ambiente y Vivienda, Generalitat de Catalunya, Provença 204-208. Barcelona. magdapl@telefonica.net, metorres@gencat.net

Resumen

A partir de diferentes variables, bien procedentes de sensores remotos, bien elaboradas mediante herramientas SIG, este trabajo presenta mejoras a la modelización cartográfica de la temperatura del aire. Se ha prestado una especial atención a los efectos de la influencia marítima sobre la temperatura mensual del aire en el medio terrestre. Para interpolar los valores de temperatura a partir de las estaciones meteorológicas se ha seguido una metodología basada en regresión múltiple con corrección residual. Las nuevas variables utilizadas para modelizar la influencia del mar han sido: temperatura de la superficie marítima, desviación estándar de la temperatura de superficie, distancia euclidiana a la línea de costa, distancia de costas a la línea de costa y proporción de la superficie de tierra y mar. Las demás variables introducidas en el análisis de regresión han sido: altitud, desviación estándar de la altitud, latitud, radiación solar, temperatura de la superficie terrestre, temperatura aparente de brillo, NDVI y albedo (Landsat). Los resultados preliminares muestran que la variable que ha aportado mejoras más sustanciales (13%) ha sido la distancia de costas a la línea de costa. La mayoría de variables procedentes de Teledetección consiguen formar parte del modelo, aunque no lo han mejorado sustancialmente. Este hecho sugiere la exploración de otros sensores remotos con una mayor resolución temporal.

1. Introducción

Los resultados obtenidos en zonas insulares, el caso del archipiélago Balear [2], aplicando la metodología desarrollada en los atlas climáticos de Cataluña y la Península Ibérica [1] dejaron entrever la necesidad de incluir nuevas variables que aportaran mejoras al modelo para ser adaptado en zonas insulares y en zonas costeras.

En éste sentido se ha considerado la influencia del mar cómo un carácter muy importante para aportar mejoras en la modelización de la temperatura atmosférica en dichas zonas. Así pues, se han tenido en cuenta los siguientes factores: influencia de la temperatura de la superficie del mar, cantidad de superficie de mar que puede afectar a cada unidad de superficie terrestre en un radio determinado y fricción que puede ejercer la orografía de la costa *versus* la posible influencia marítima. Estos factores se han materializado en distintas variables obtenidas a partir de información de Teledetección y también de análisis geográficos con herramientas SIG. Asimismo, se ha aprovechado el estudio para testar otras variables no tan relacionadas con los factores señalados.

2. Zona de estudio

El presente estudio se ha realizado en la costa de Cataluña (de unos 750 km de longitud), al noreste de la Península Ibérica. Se ha seleccionado una franja de tierra de 60 km de ancho y de clima predominantemente mediterráneo para detectar la posible influencia marítima. La zona comprende las sierras Litoral y Prelitoral, ambas paralelas a la línea de costa y separadas por una depresión prelitoral. La sierra Litoral se extiende desde la Costa Brava, en el norte, hasta Tarragona, en el tercio sur. Alcanza unos 700 m de altura mientras que no sobrepasa los 15 km de anchura. La sierra Prelitoral se extiende desde la mitad del tercio norte hasta la zona del Delta del Ebro, pudiendo alcanzar una altura de hasta 1700 m y una anchura de unos 40 km. La línea de costa es bastante rectilínea exceptuando el Cap de Creus en el norte, donde los Pirineos se sumergen en el mar. Asimismo, cabe destacar una depresión costera en el norte: el Empordà. En el sur se encuentra otra gran planicie correspondiente a la depresión del Ebro que desciende hacia el mar, encajada entre sierras.

3. Metodología

Como ya se ha comentado en la introducción, el presente estudio ha seguido la metodología desarrollada en [1] y [2], basada en la regresión múltiple con corrección residual, utilizando el elemento climático (temperatura mínima, máxima y media mensual) como variable dependiente y Teledetección y datos geográficos como independientes.

También se ha utilizado el análisis de componentes principales (ACP) para detectar qué variables pueden estar mejor correlacionadas y aportarnos más información, sin ser esta redundante o interferir negativamente en la modelización.

A partir del análisis exploratorio de los componentes principales y del conocimiento de las variables se han ensayando 22 combinaciones de variables independientes distintas para cada elemento climático y mes. Dichas combinaciones se agrupan en tres bloques: geográficos (con variables geográficas), Teledetección (variables de Teledetección) y mixtos (variables geográficas y de Teledetección).

En este análisis preliminar se ha trabajado con medias mensuales de los meses solsticiales (junio y diciembre) y equinocciales (marzo y septiembre). La resolución espacial (120 m) corresponde a la del canal térmico del sensor Landsat TM.

3.1. Variables dependientes

Las variables a modelizar son la temperatura mínima, máxima y media mensual. Se ha trabajado con las 64 estaciones meteorológicas de la zona de estudio que pertenecen a la red de estaciones Agroclimáticas de Cataluña (XAC). Los datos han sido extraídos desde la web del Servicio Meteorológico de Cataluña (SMC).

La información original contenía datos horarios, que se han almacenado en una base de datos. Para cada fracción horaria originalmente existía la siguiente información: temperatura mínima, temperatura máxima con la hora exacta y temperatura media para cada intervalo horario calculada a partir de la mínima y máxima.

A ésta información original se ha aplicado los siguientes filtros eliminando: 1/ Valores realmente extremos: (temperaturas superiores a 45 °C o inferiores a -25 °C). 2/ Valores de 0.00 °C en los que la hora de toma de la muestra estaba representada cómo 00:00, que no correspondía a la fracción horaria a la que hacía referencia. 3/ Registros para los cuales sólo había información de temperatura media.

A continuación se ha calculado las medias diarias para los días en los que había al menos 20 horas de datos; sobre estas medias se han calculado medias mensuales para los casos en los que al menos había 25 días de datos.

Nuestra disponibilidad de datos satelitales nos ha obligado a trabajar con una serie de años mucho más corta (7 años) que la recomendada para la modelización de temperatura (20 años).

3.2. Variables independientes

3.2.1. Variables de Teledetección

Se han utilizado imágenes Landsat de todo el territorio catalán, tomadas desde el 2002 hasta la actualidad (ETM+ hasta mayo del 2003 y posteriormente TM). Se han seleccionado las fechas con muy pocas nubes, con lo que se ha trabajado con 18 imágenes de los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre. Las medias mensuales se han calculado a partir de las diferentes imágenes de un mismo mes.

Las variables de Teledetección utilizadas para la modelización de la influencia marítima sobre la temperatura atmosférica terrestre han sido: 1/ Temperatura de superficie terrestre y del mar (TS), calculada corrigiendo la emisividad del canal térmico siguiendo el método de Valor *et al* [3]. 2/ Desviación estándar de la TS (DevTS), aplicando un filtro de desviación estándar a la TS con una ventana de 5,4 km; debido a que la temperatura de la superficie del mar es más homogénea, la desviación estándar en las zonas más cercanas a la costa suele ser menor que en zonas de interior, con lo que se pretende medir la influencia de la temperatura del mar en las zonas más cercanas a la costa. 3/ Otras variables no tan relacionadas con la influencia del mar, como temperatura aparente de brillo (TAB), calculada, igual que la TST, a partir de la corrección de la emisividad en el canal térmico [3], albedo (ALB), calculada como suma ponderada de los canales 1 a 5 y 7, siguiendo el método de Dubayah *et al.* [4], NDVI.

3.2.2. Variables geográficas

Se han utilizado las mismas variables que en los estudios anteriores [1] y [5]: altura sobre el nivel del mar (ALT), latitud (LAT), radiación solar (RAD) y distancia euclidiana a la costa (CONT). Para la modelización de la influencia marítima sobre la temperatura atmosférica terrestre se ha incorporado las siguientes variables geográficas: 1/ Distancia de costas a la línea de costa o fricción (FRC): coste relativo para moverse desde la línea de costa hacia

el interior en función de la distancia a la costa y de la altura sobre el nivel del mar (con esta variable se pretende refinar la variable CONT aportando el factor altura para así cuantificar el efecto de la influencia del mar en función de la orografía del terreno). 2/ Proporción de la superficie de tierra y mar (MT) (se ha efectuado mediante un filtro de desviación estándar en un ráster mar-tierra al que se ha aplicado una matriz de convolución de 167 píxeles de lado -aproximadamente 20 km-); con esta variable se ha asignado la proporción de mar en cada porción de tierra y así determinar su influencia.

Finalmente, se ha incorporado una nueva variable no relacionada con la modelización de la influencia marítima: Desviación estándar de la altitud (DevALT) (obtenida mediante un filtro de desviación estándar sobre el MDE, al que ha aplicado una matriz de convolución de 59 píxeles de lado -aproximadamente 7 km-); con esta variable se ha homogeneizado la zona de influencia en las estaciones.

4. Resultados

Un primer examen a partir del análisis de componentes principales (ACP) permite observar diferentes patrones en los 4 meses analizados.

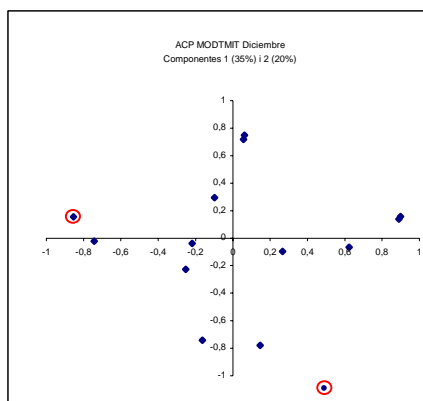


Figura 1: ACP para la temperatura media en el mes de diciembre. Las variables situadas en los extremos del eje representan variables con una correlación importante con las componentes principales (se ha descrito la variable), las situadas cerca del origen de coordenadas tienen poco peso (puntos sin nombre).

Dentro de cada mes se detectan patrones muy similares en cada una de las variables dependientes (temperatura mínima, máxima y media). De forma común en todos los meses existe una correlación importante entre FRC y CONT, a la vez que están

inversamente relacionadas con la temperatura. Otras variables con un peso muy importante pero no relacionadas directamente con la temperatura son: TST y TAB en septiembre y junio están muy correlacionadas, RAD y ALB en diciembre también están muy correlacionadas y, finalmente, NDVI y LAT muestran una correlación menor y a la vez una relación inversamente proporcional a RAD y ALB en el mes de diciembre (véase Fig.1). El mes de marzo ha proporcionado resultados más dispersos.

Tabla 1: R^2 ajustada de la validación del bloque geográfico de las mejores combinaciones de las variables. El primer caso incluye CONT en lugar de FRC y el segundo FRC en lugar de CONT.

Variable climática	ALT, LAT, CONT,	ALT, LAT, FRC,
TMAX MAR	0,78	0,78
TMAX JUN	0,64	0,64
TMAX SET	0,89	0,89
TMAX DES	0,29	0,42
TMIN MAR	0,74	0,74
TMIN JUN	0,65	0,65
TMIN SET	0,88	0,88
TMIN DES	0,28	0,38
TMIT MAR	0,77	0,77
TMIT JUN	0,65	0,65
TMIT SET	0,84	0,84
TMIT DES	0,29	0,41

Tabla 2: R^2 ajustada de la validación del bloque mixto. El primer caso incluye las 12 variables, el segundo caso no incluye CONT y MT.

Variable climática	Todas variables	ALT, LAT, FRC, NDVI, RAD, DevTS, TS, ALB, TAB y DevALT
TMAX MAR	0,61	0,70
TMAX JUN	0,55	0,58
TMAX SET	0,80	0,82
TMAX DES	0,36	0,39
TMIN MAR	0,54	0,70
TMIN JUN	0,55	0,55
TMIN SET	0,75	0,82
TMIN DES	0,33	0,35
TMIT MAR	0,58	0,68
TMIT JUN	0,57	0,57
TMIT SET	-	0,77
TMIT DES	0,35	0,37

La variable MT aparece en prácticamente todos los meses como una variable de mucho peso, relacionada directamente con la temperatura, pero el método seguido para calcular esta variable ha

creado zonas con ceros (todo tierra) en los que se debería analizar la eventual presencia de artefactos en la regresión múltiple y en el mismo ACP.

En el proceso de regresión múltiple con corrección de residuos del bloque geográfico (véase Tab. 1), los mejores resultados se obtienen cuando se incluye la variable FRC en lugar de CONT, obteniendo hasta una mejora del 13% en diciembre para la R^2 de la validación. La inclusión de las variables MT o DevALT no aporta mejoras, o incluso al incluir MT las temperaturas medias de septiembre muy malos resultados. En estos casos las únicas variables que entran en la regresión son LAT, ALT y FRC o CONT.

En el bloque mixto (véase Tab. 2), si se van incluyendo las variables de teledetección una a una por separado no se aprecian en general mejoras: La variable de Teledetección nunca entra en el modelo excepto en el caso del NDVI.

Si se consideran todas las variables de Teledetección con todas las variables geográficas los resultados empeoran. Si en cambio, se obvia alguna variable geográfica los resultados aunque no mejoran, son similares y además entran en el modelo todas las variables de Teledetección excepto ALB. En este caso la variable FRC da mejores resultados que CONT; si, además, se excluye del modelo MT o DevALT los resultados mejoran ligeramente. Las variables de Teledetección (bloque Teledetección) solas dan muy malos resultados, tal y como cabía esperar.

5. Conclusiones

Los resultados preliminares obtenidos sugieren: Entre las variables utilizadas para la modelización de la influencia marítima, la que ha dado mejores resultados es FRC, aportando mejoras de hasta un 13% respecto a la CONT. La variable MT no aporta mejoras y en el caso del mes de septiembre empeora los resultados hasta el punto de que no entra ninguna variable en el modelo. Se podría mejorar la variable MT con una ventana de convolución mayor, pero esto incrementa exponencialmente el tiempo de cálculo, por lo que sería interesante explorar vías alternativas de obtención o bien comprobar su efecto en zonas insulares. Las variables de Teledetección, TS y DevTS, aunque no aportan mejoras, son significativas lo que sugiere que debería explorarse su papel el resto de meses del año así como la posibilidad de obtenerlas a partir de otros sensores remotos con una mayor resolución temporal.

En cuanto a los resultados de la comparación del bloque geográfico *versus* los bloques de Teledetección y mixto, aunque no han aportado

mejoras importantes tampoco suponen un empeoramiento considerable del ajuste del modelo. Similarmente a como hemos expuesto en el párrafo anterior, sugerimos explorar otros sensores, como NOAA o MODIS para el cálculo de medias mensuales a partir de más datos y más diversos. Finalmente, también es importante poder alargar las series temporales, tanto de datos climáticos como satelitales.

6. Agradecimientos

A la Agencia Catalana del Agua (Departament de Medio Ambiente y Vivienda de la Generalitat de Catalunya) por haber cedido las imágenes Landsat.

A Joan Ramoneda, de la Agència Catalana de l'Aigua por su ayuda en el análisis de componentes principales.

7. Referencias

- [1] Ninyerola, M.; Pons, X. y Roure, J.M.. "A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques". *International Journal of Climatology*, 20: 1823-1841, 2000.
- [2] Pons, X., Ninyerola, M., Pla, M. y Roure, J.M. "Modelización climática mediante SIG aplicada a los modelos insulares. El caso del archipiélago balear." *El agua y el Clima, III Congreso de la asociación española de climatología, Palma de Mallorca, 2002.*
- [3] Valor, E., Caselles, V., Coll, C., Sánchez, F., Rubio, E. y Sospedra, F. "Simulation of a medium-scale-surface-temperature instrument from Thematic Mapper data", *International journal of Remote sensing*, 21(16): 3153-3159, 2000.
- [4] Dubayah, R., "Estimating net solar radiation using Landsat Thematic Mapper and digital elevation data", *Water resources research*, Vol. 28, pp. 2469-2484, 1992.
- [5] Pons, X.. "Estimación de la Radiación Solar a partir de modelos digitales de elevaciones. Propuesta metodológica". A: VII Coloquio de Geografía Cuantitativa, Sistemas de Información Geográfica y Teledetección. Juaristi, J. y Moro, I. (eds.) Vitoria-Gasteiz, 1996.