

Aportación de variables obtenidas mediante Teledetección a la modelización de la temperatura del aire.

Cristóbal J. ^(1y2), Ninyerola M. ⁽²⁾ y Pons X. ^(1y3)

⁽¹⁾Dep. Geografía. Universitat Autònoma de Barcelona. Cerdanyola del Vallès, 08193. Jordi.Cristobal@uab.es.

⁽²⁾Dep. Biología Animal, Vegetal y Ecología. Unidad de Botánica. Universitat Autònoma de Barcelona. Cerdanyola del Vallès, 08193. Miquel.Ninyerola@uab.es.

⁽³⁾Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF). Universitat Autònoma de Barcelona. Cerdanyola del Vallès, 08193. Xavier.Pons@uab.es.

Resumen

En este artículo se presenta una metodología híbrida entre la Teledetección y los SIG para la obtención de la temperatura instantánea del aire y la temperatura media diaria del aire en Cataluña, basada en técnicas de regresión múltiple y de interpolación espacial de los datos procedentes de las estaciones meteorológicas [1]. Para el análisis de regresión múltiple se han utilizado tanto variables obtenidas a partir de Teledetección (albedo, TST, temperatura aparente de brillo, NDVI y emisividad) como variables obtenidas a partir de modelización SIG (altitud, latitud, distancia al mar y radiación solar global). La información procede de una serie de 29 imágenes NOAA-AVHRR y 52 imágenes Landsat repartidas a lo largo del periodo 2002–2004. El MDE utilizado para obtener las variables geográficas tiene una resolución de 120 m y 1 km.

Se ha elaborado un conjunto de 32 modelos (utilizando diferentes combinaciones de variables independientes) para cada tipo de temperatura y para 22 fechas libres de nubes, ya que el resto de las fechas han presentado problemas en su modelización. De estos modelos, podemos distinguir tres bloques: un bloque geográfico (usando variables SIG), un bloque de Teledetección (usando variables de Teledetección) y un bloque mixto (SIG y Teledetección).

Los resultados provisionales obtenidos (promediados para todas las fechas y calculados a partir de validaciones con datos independientes) se han obtenido a partir de los modelos geográficos tanto para las temperaturas instantáneas como para las diarias (RMS=1.26 °C i RMS=0.92 °C respectivamente). Los modelos de Teledetección presentan un RMS aproximadamente 0.5 °C mayor. Por otra parte, los resultados obtenidos a partir de datos NOAA son mejores que los obtenidos mediante Landsat. Finalmente, los modelos mixtos presentan resultados intermedios (un RMS

aproximadamente 0.4 °C mayor que el obtenido para los modelos geográficos).

Sin embargo, en alguna fecha concreta, la modelización espacial de la temperatura con el bloque geográfico no ha dado resultados significativos y debe acudirse al bloque mixto.

1. Introducción

La modelización de la temperatura instantánea (T_i), a la hora de paso del satélite, y de la temperatura media diaria del aire (T_m) es un elemento indispensable para el cálculo a escala regional de variables hidrológicas de alto interés como son la evapotranspiración [2], la radiación neta o el índice de estrés diario, entre otros [3].

Habitualmente la interpolación espacial de datos climáticos se ha realizado a partir de los datos de las estaciones meteorológicas con la ayuda de variables geográficas. En trabajos previos [1] se han utilizado las siguientes variables: altitud (ALT), latitud (LAT), distancia al mar (CONT) y radiación solar global (RG).

El objetivo de este artículo es la integración entre este tipo de variables geográficas, obtenidas mediante técnicas SIG, y la información que ofrecen las variables obtenidas mediante Teledetección como son la temperatura de la superficie terrestre (TST), la temperatura aparente de brillo (TAB), el NDVI, el albedo y la emisividad para obtener la T_i y la T_m .

Finalmente, se ha valorado la importancia relativa de los diferentes modelos a partir de validaciones con estaciones meteorológicas independientes.

2. Material y área de estudio

En este trabajo se han utilizado un conjunto de 36 imágenes del satélite Landsat-7 ETM+ y 16 Landsat-5 TM de las órbitas 197 y 198, y filas 31 y 32; y un conjunto de 29 imágenes del satélite

NOAA-AVHRR 16, coincidentes todas en fecha a las imágenes Landsat, cedidas por el LATUV y repartidas durante todo el año del periodo 2002-2004 y con diferente grado de nubosidad.

El ámbito geográfico del área de estudio corresponde a la comunidad autónoma de Cataluña con una superficie total de 32105 km².

Los datos meteorológicos se han obtenido a partir de la red de estaciones agrometeorológicas de Cataluña. Como indica su nombre, estas estaciones están ubicadas primordialmente en zonas agrícolas

3. Metodología

Para la modelización de la T_i y la T_m se ha usado una variante de la metodología propuesta por Ninyerola *et al.* [1]. Esta metodología se basa en técnicas de regresión múltiple y de interpolación espacial de los datos provenientes de las estaciones meteorológicas. Un aspecto a destacar del modelo es el refinamiento posterior que se realiza sobre estos mapas, utilizando precisamente los residuos del mismo análisis de regresión múltiple. De esta manera se obtiene por interpolación estrictamente matemática (inverso de la distancia y *splines*) unos mapas de residuos o anomalías que nos sirven para corregir los mapas iniciales obtenidos por el modelo de la regresión múltiple. Así pues, estamos ante un método de interpolación espacial que integra aspectos estadísticos, matemáticos y herramientas típicamente SIG. En la elaboración de los modelos de regresión múltiple se utiliza el 60% de las estaciones, y el restante 40% para su validación.

Como ya se ha dicho anteriormente, las variables climáticas modelizadas (variables dependientes) han sido la T_i y la T_m .

La ALT, la CONT, la LAT, la RG, el albedo, la emisividad, el NDVI, la temperatura de la superficie terrestre (TST) y la temperatura aparente de brillo (TAB) se han usado como variables independientes en el caso de Landsat. En el caso de NOAA se han usado todas excepto la TAB y la emisividad.

Respecto al modelo original, esta metodología aporta la integración de las variables obtenidas por Teledetección con el modelo basado en variables geográficas.

Se ha elaborado una aplicación para llevar a cabo la obtención de 32 análisis de regresión múltiple distintos y sus validaciones para cada una de las variables dependientes y para cada una de las fechas. A efecto de obtener datos para evaluar la influencia de las distintas variables distinguimos tres bloques de modelos: un bloque geográfico (usando variables SIG), un bloque de Teledetección (usando variables de Teledetección obtenidas

mediante las imágenes NOAA y Landsat) y un bloque mixto (SIG y Teledetección).

Para la elaboración de las variables geográficas se ha utilizado un MDE de resolución de 120 m y 1 km. La metodología para su elaboración se puede consultar en Ninyerola *et al.* [1]

A continuación se detalla el proceso seguido para elaborar las variables de Teledetección.

3.1. Corrección geométrica y radiométrica

Las imágenes se han corregido geoméricamente mediante el método propuesto por Palà y Pons [4]. Las imágenes se han corregido con una resolución espacial de 30 m para los canales multispectrales y 120 m para el canal térmico.

La corrección radiométrica se ha llevado a cabo mediante el método propuesto por Pons y Solé [5]. La conversión de DN a radiancias se ha realizado mediante la lectura de los datos incluidos en la cabecera de cada imagen.

3.2. Emisividad de la superficie

Para la determinación de la emisividad del suelo y la vegetación se ha seguido el método propuesto Valor y Caselles [6] a partir de la relación existente entre el índice NDVI y la emisividad de las superficies y los valores de emisividad obtenidos en el laboratorio y/o en el campo.

3.3. TAB y TST

Dada la ausencia de perfiles atmosféricos a la hora de paso del satélite para llevar a cabo la corrección atmosférica se ha llevado a cabo la corrección sólo por emisividades de la banda térmica del ETM+ y TM por el método propuesto por Valor *et al.* [7].

3.4. Albedo

Se ha calculado en base al método propuesto por Dubayah [8] mediante la suma ponderada de los canales del visible, infrarrojo cercano e infrarrojo medio (canales 1, 2, 3, 4, 5, y 7 del ETM+ y TM).

4. Resultados y discusión

Si bien se han validado un total de 5184 modelos de temperatura para las 52 fechas, sólo se muestran los mejores resultados para cada variable, fecha y bloque en función del mejor RMS para 22 fechas libre de nubes. Esto es debido a que en fechas con una cubierta nubosa media o elevada, se disponía de menos estaciones meteorológicas y en los modelos realizados las diferentes variables no se ajustaban correctamente al no disponer de

suficientes estaciones meteorológicas repartidas a lo largo del área de estudio.

Ha de tenerse en cuenta también, que los resultados obtenidos son válidos para la zona topoclimática donde se incluyen las estaciones meteorológicas que, en este caso, corresponde a una zona agrícola.

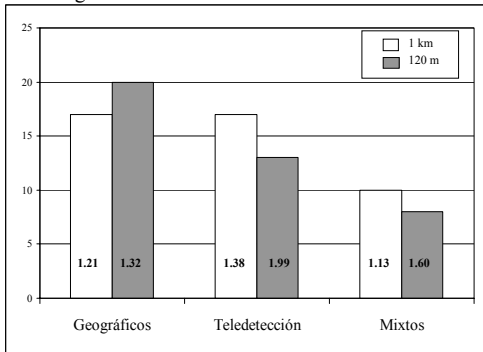


Figura 1: RMS promedio para todas las fechas (centro de la barra) y número total de modelos con variables significativa (ordenada) para el caso de la T_i agrupados por bloque y resolución espacial.

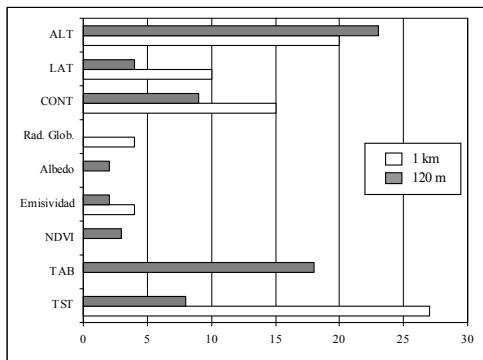


Figura 3: Número de casos (para todos los bloques) en los que una variable independiente es significativa para la T_i .

Como se puede observar en las figuras 1 y 2, el RMS promedio para la T_i es mayor que el RMS para la T_m . Esto se debe principalmente a la mayor dificultad en modelizar la T_i ya que está elaborada a partir de datos no promediados. Dentro del bloque de Teledetección se observa que las imágenes NOAA dan mejores resultados que las Landsat. Esto puede deberse principalmente a dos factores: a un mejor cálculo de la TST (variable que entra en la mayoría de los casos en los modelos de Teledetección y mixtos) o a la diferente resolución espacial de los dos sensores. La temperatura del aire

se modeliza mejor utilizando una malla de 1 km (caso del NOAA) respecto a una malla de 120 m (caso del Landsat). Esto puede ser debido, tal vez, a la homogeneización de los valores de las diferentes variables obtenidas a menor resolución.

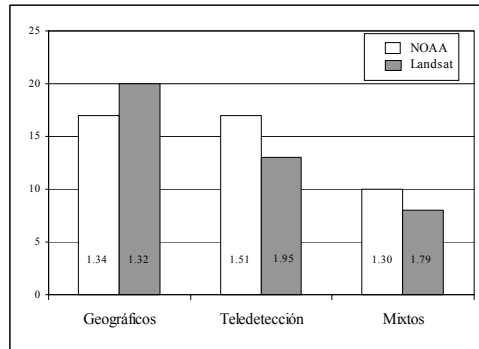


Figura 2: RMS promedio para todas las fechas (centro de la barra) y número total de modelos con variables significativa (ordenada) para el caso de la T_m agrupados por bloque y resolución espacial.

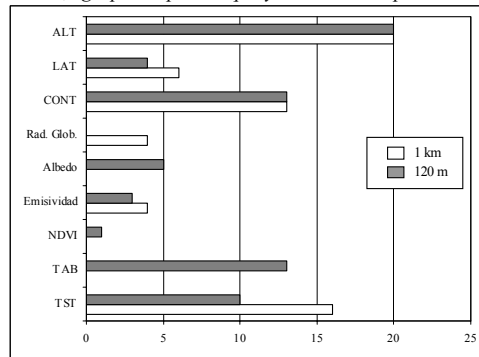


Figura 4: Número de casos (para todos los bloques) en los que una variable independiente es significativa para la T_m .

Como se observa en las figuras 1 y 2, casi todos los mejores resultados que se han obtenido pertenecen a los modelos geográficos tanto para las T_i como para las T_m (RMS=1.26 °C i RMS=0.92 °C respectivamente). Los modelos de Teledetección presentan un RMS aproximadamente 0.5 °C mayor. Sin embargo, los resultados obtenidos a partir de datos NOAA son mejores que los obtenidos mediante Landsat. Finalmente, los modelos mixtos presentan resultados intermedios (un RMS aproximadamente 0.4 °C mayor que el obtenido para los modelos geográficos) y, en el caso de la T_i para NOAA mejora respecto a los modelos geográficos.

Es interesante notar que en general el RMS oscila alrededor de 1.3 °C.

En referencia a las variables independientes significativas de tipo geográfico (figuras 3 y 4) se puede observar que la ALT es más significativa y, por tanto, un factor climático de primer orden. La CONT y la LAT varían en función de la temperatura modelizada. La RG entra en muy pocos modelos a diferencia de lo esperado, lo que es debido a la falta de gradiente de RG en la ubicación de las estaciones meteorológicas.

La TST y la TAB son las variables de Teledetección más importantes en los bloques de Teledetección o en los bloques mixtos. El albedo, la emisividad y el NDVI aunque son significativos en menor proporción también ayudan a mejorar los modelos mixtos o de Teledetección.

Finalmente notar, que hay fechas que sólo se pueden modelizar con datos de Teledetección, o sea, con el bloque de Teledetección o el bloque mixto.

5. Conclusiones

Los modelos se mejoraran en un futuro haciendo variaciones en su validación y aumentando, si es posible, el número de estaciones meteorológicas.

La modelización de la T_m ha dado mejores resultados que la modelización de la T_i en cualquiera de los tres bloques analizados debido, seguramente, a la dificultad en modelizar la T_i por ser un variable no promediada.

En referencia a la diferente resolución espacial, es interesante notar que a una resolución espacial menor (caso del NOAA) el RMS es mejor que a una mayor resolución espacial (caso del Landsat). Esto puede ser debido, tal vez, a la homogeneización de los valores de las variables obtenidas a menor resolución.

De los diferentes bloques de variables analizados, el bloque geográfico es el que ofrece mejores resultados en la mayoría de los casos aunque el bloque mixto de la T_i para NOAA mejora, aunque por poco, el resultado del bloque geográfico.

En referencia a las variables significativas en el bloque de Teledetección y en el bloque mixto, hay que destacar que las variables más importantes son, para el caso de NOAA la TST y, para el caso caso de Landsat, la TAB y TST. En el bloque geográfico la variable más significativa es la ALT. Finalmente, destacar, que hay fechas que sólo se pueden modelizar mediante las variables del bloque de Teledetección o por el bloque mixto.

6. Agradecimientos

Los autores quieren agradecer al Dr. José Luís Casanova y a todo el equipo del LATUV la cesión de las imágenes para llevar a cabo parte de este estudio, así como al Dr. Vicente Caselles por sus consejos en la corrección atmosférica y por emisividades del canal térmico del Landsat.

La realización de este trabajo no hubiera sido posible sin la financiación aportada por el M.C.T. y fondos FEDER del proyecto de investigación: "Compresión wavelet de imágenes para aplicaciones de Teledetección y SIG. 4 implicaciones en el proceso digital de imágenes" (TIC2003-08604-C04-03).

7. Referencias

- [1] Ninyerola, M.; Pons, X. y Roure, JM., "A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques". *International Journal of Climatology*. Vol. 20, pp. 1823-1841, 2000.
- [2] Seguin, B. y Itier, B., "Using midday surface temperature to estimate daily evapotranspiration from satellite IR data". *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 4, pp. 371-383, 1983.
- [3] Quattrochi, D. A.; Luvall, J. C., *Thermal remote sensing in land surface processes*. CRC Press, 2002.
- [4] Palà, V. y Pons, X., "Incorporation of relief into geometric corrections based on polynomials". *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 61, pp. 935-944, 1995.
- [5] Pons, X. y Solé-Sugrañes, L., "A Simple Radiometric Correction Model to Improve Automatic Mapping of Vegetation from Multispectral Satellite Data". *Remote Sensing of Environment*, Vol. 47, pp. 1-14, 1994.
- [6] Valor, E. y Caselles, V., "Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African and South American areas". *Remote Sensing of Environment*, Vol. 57, pp. 167-184, 1996.
- [7] Valor, E.; Caselles, V.; Coll, C.; Sánchez, F.; Rubio, E.; Sospedra, F., "Simulation of a medium-scale-surface-temperature instrument from Thematic Mapper data. *International Journal of Remote Sensing*, 21(16): 3153-3159, 2000.
- [8] Dubayah, R., "Estimating net solar radiation using Landsat Thematic Mapper and digital elevation data". *Water resources research*, Vol. 28, pp. 2469-2484, 1992.